N° d'Ordre :
155

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

André FRANÇOIS

1re THÈSE. — RECHERCHES SUR LE COMPORTEMENT BIOCHIMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DE LA VITAMINE A DANS LA SÉCRÉTION LACTÉE.

2e THÉSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 6 juillet 1945 devant la Commission d'Examen

MM. JAVILLIER *Président.*
AUBEL
MONNIER *Examinateurs.*

CHAMBÉRY
IMPRIMERIES RÉUNIES, 3, RUE LAMARTINE
—
1948

FACULTÉ DES SCIENCES

Nom du Candidat : **FRANÇOIS.**

Prénoms : **André, Charles.**

Date de Soutenance : **6 Juillet 1945.**

Numéro d'ordre : **155.**

(Ces deux mentions seront complétées par le Service de la Bibliothèque.)

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement biochimique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — *Chambéry*, Imp. Réunies, 1948. In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Ing. Doct. Paris, 1945. N° 155).

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement biochimique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — *Chambéry*, Imp. Réunies, 1948. In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Ing. Doct. Paris, 1945. N° 155).

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement biochimique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — *Chambéry*, Imp Réunies, 1948. In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Ing. Doct. Paris, 1945. N° 155).

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement biochimique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — *Chambéry*, Imp. Réunies, 1948. In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Ing. Doct. Paris, 1945. N° 155).

FACULTÉ DES SCIENCES

Nom du candidat : **FRANÇOIS.**

Prénoms : **André, Charles.**

Date de soutenance : **6 Juillet 1945.**

Numéro d'ordre : **155.**

(Ces deux mentions seront complétées par le Service de la Bibliothèque)

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement bioclimatique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — (Thèses Fac. Méd. Paris, 1945). In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Fac. Méd. Paris, 1945. N° 155).

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement bioclimatique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — (Thèses Fac. Méd. Paris, 1945). In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Fac. Méd. Paris, 1945. N° 155).

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement bioclimatique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — (Thèses Fac. Méd. Paris, 1945). In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Fac. Méd. Paris, 1945. N° 155).

FRANÇOIS (André, Charles). — Recherches sur le comportement bioclimatique et physiologique de la vitamine A dans la sécrétion lactée. — (Thèses Fac. Méd. Paris, 1945). In-8°, 116 p., 25 fig.

(Thèse Fac. Méd. Paris, 1945. N° 155).

RECHERCHES SUR LE COMPORTEMENT BIOCHIMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DE LA VITAMINE A DANS LA SECRÉTION LACTÉE

N° d'Ordre :
155

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE D'INGÉNIEUR-DOCTEUR

PAR

André FRANÇOIS

1re THÈSE. — RECHERCHES SUR LE COMPORTEMENT BIOCHIMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DE LA VITAMINE A DANS LA SÉCRÉTION LACTÉE.

2e THÉSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 6 juillet 1945 devant la Commission d'Examen

MM. JAVILLIER *Président.*
AUBEL
MONNIER } *Examinateurs.*

CHAMBÉRY
IMPRIMERIES RÉUNIES, 3, RUE LAMARTINE
—
1948

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen ..... M. Paul MONTEL

PROFESSEURS

P. MONTEL ..... T Théorie des Fonctions.
L. BLARINGHEM .... T Botanique.
G. JULIA ..... T Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
C. MAUGUIN ..... T Minéralogie.
A. MICHEL-LÉVY ... T Petrographie.
A. DENJOY ..... T Géométrie supérieure.
L. LUTAUD ..... T Géographie physique et géologie dynamique.
E. DARMOIS ..... T Enseignement de Physique.
A. DEBIERNE ..... T Electronique et Radioactivité.
M. JAVILLIER ..... T Chimie biologique.
Robert LÉVY ..... T Physiologie comparée.
Henri VILLAT .... T Mécanique des fluides et applications.
Ch. JACOB ..... T Géologie.
P. PASCAL ..... T Chimie générale.
M. FRÉCHET ..... T Calcul des probabilités et Physique mathématique.
E. ESCLANGON ..... T Astronomie.
Mme RAMART-LUCAS T Chimie organique.
H. BÉGHIN ..... T Mécanique physique et expérimentale.
FOCH ..... T Mécanique expérimentale des fluides.
PAUTHENIER ..... T Electrotechnique générale.
DE BROGLIE ..... T Théories physiques.
CHRÉTIEN ..... T Optique appliquée.
JOB ..... T Chimie générale.
PRENANT ..... T Anatomie et Histologie comparées.
VILLEY ..... T Mécanique appliqué.
COMBES ..... T Physiologie végétale.
GARNIER ..... T Application de l'analyse à la Géométrie.
PÉRÈS ..... T Mécanique rationnelle.
HACKSPILL ..... T Chimie minérale.
LAUGIER ..... T Physiologie générale.
TOUSSAINT ..... T Technique Aéronautique.
M. CURIE ..... Physique (P.C.B.)
G. RIBAUD ..... T Hautes températures.
CHAZY ..... T Mécanique analytique.
GAULT ..... T Chimie appliquée.
CROZE ..... T Physique théorique et Physique céleste.
DUPONT ..... T Théories chimiques.
LANQUINE ..... T Géologie structurale et géologie appliquée.
VALIRON ..... T Calcul différenciel e Calcul intégral.
BARRABÉ ..... T Géologie structurale e géologie appliquée.
F. PERRIN ..... T Théories physiques.
VAVON ..... T Analyse et mesure chimiques.
G. DARMOIS ..... T Mathématiques générales.
CHATTON ..... T Biologie maritime.
AUBEL ..... Chimie biologique.
Jacques BOURCART. Géographie physique e Géologie dynamique.
Mme JOLIOT-CURIE Physique générale e Radioactivité.
PLANTEFOL ..... T Botanique.
CABANNES ..... T Recherches physique
GRASSE ..... T Zoologie (Evolution d des êtres organisés.
PRÉVOST ..... T Chimie organique.
BOULIGAND ..... Mathématiques.
CHAUDRON ..... T Chimie.
WYART ..... T Minéralogie.
TEISSIER ..... T Zoologie.
MANGENOT ..... T Biologie végétale.
P. AUGER ..... T Physique quantique relativité.
MONNIER ..... T Physiologie générale.
PIVETEAU ..... T Géologie.
ROCARD ..... Physique.
H. CARTAN ..... Calcul différentiel.
SCHAEFFER ..... T Physiologie des fon tions.
LAFFITTE ..... T Chimie (P.C.B.)
LERAY ..... T Mécanique théorique des fluides.
FAVART ..... T Calcul des probabilit et Physique-Mathématique.
COULOMB ..... T Physique du globe.
Mlle COUSIN ..... T Biologie animale (P. B.).
CHRÉTIEN ..... T Analyse et mesur chimiques.
DRACH ..... T Evolution des êtr organisés.
CHATELET ..... T Arithmétique et thé rie des nombres.
EPHRUSSI ..... T Génétique.
WURMSER ..... T Biologie physico-c mique.
KASTLER ..... T Physique.
BAUER ..... T Chimie-Physique.
RIVIÈRE ..... Géologie.

Secrétaire ..... Ch. MONIER

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

A MON PÈRE

A MA MÈRE

à qui je dois tant

A MA FEMME

Monsieur le Professeur JAVILLIER
Membre de l'Institut
Président de l'Académie d'Agriculture de France
Professeur à la Sorbonne
et au Conservatoire National des Arts et Métiers

nous a fait l'honneur de s'intéresser à notre travail et d'accepter la présidence du Jury d'examen.

Messieurs les Professeurs AUBEL et MONNIER,
Professeurs à la Sorbonne,

ont également accepté de faire partie du Jury.

Nous les en remercions bien vivement.

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Zootechnie de l'Institut National Agronomique.

M. le Professeur André-M. Leroy *nous l'a inspiré et nous tenons à lui exprimer notre reconnaissance pour l'accueil qu'il nous a réservé à son laboratoire, et pour les conseils et l'appui qu'il nous a apportés.*

M. André Gasnier. *chef de Travaux à l'Institut National Agronomique, Directeur du Laboratoire de Bionergétique, a su animer et guider l'équipe des jeunes chercheurs du Laboratoire de Zootechnie. Nous le remercions bien sincèrement des précieux conseils qu'il a bien voulu nous donner.*

Notre ami Jacques Chaffray, *Ingénieur-Agronome nous a beaucoup aidé. Nous lui en exprimons toute notre reconnaissance.*

Certaines parties de ce travail ont nécessité une importante expérimentation à la ferme. Les agronomes ont, dans des conditions expérimentales souvent très difficiles, veillé à l'alimentation des animaux, aux prélèvements des échantillons, et effectué toutes les observations utiles. MM. Citeaux, Delage, Février, Maitre-jean, Péro, *se sont chargés de ce travail. Qu'il nous soit permis d'insister sur les difficultés rencontrées dans la réalisation de telles expériences avec des animaux appartenant à une exploitation privée.*

De plus, au cours de la période expérimentale s'écoulant entre les mois de novembre 1943 *et août* 1944, *les circonstances dues à la guerre ont rendu plus difficile encore l'exécution du plan d'expérience. Les lacunes existant dans ce travail sont dues à des circonstances indépendantes de notre volonté.*

Nous remercions le Comité de Technique Scientifique Laitière qui a bien voulu subventionner ce travail.

PREMIÈRE PARTIE

TRAVAUX ANTÉRIEURS

INTRODUCTION

On connaît le rôle d'une exceptionnelle importance que joue la vitamine A dans la croissance du jeune être. L'apport de vitamine nécessaire au mammifère est assuré en totalité par le lait maternel pendant la première phase de la vie.

Le lait contient, en effet, plusieurs vitamines, notamment les vitamines hydrosolubles B_1, B_2, C, PP et les vitamines liposolubles A et D.

Le lait est, comme le dit JAVILLIER [1] un aliment « honorablement vitaminé ». Il permet de couvrir de 12 à 75% des besoins vitaminiques de l'homme adulte suivant la vitamine envisagée. Pour la vitamine A, si l'on calcule les besoins d'après la formule de MEUNIER et RAOUL [2] (500 microgrammes par jour) on trouve qu'un litre de lait d'été fournit environ 50% de la vitamine nécessaire.

Nous résumerons d'abord succinctement les propriétés de la vitamine A au point de vue physique, chimique et physiologique.

Nous rappellerons également les principales caractéristiques du lait et la physiologie de la lactation.

CHAPITRE PREMIER

La vitamine A

1. Historique.

A la suite de longues et délicates recherches, l'on a pu établir le rapport qui existe entre le carotène et la vitamine A.

Steenbock montra en 1919 que l'activité vitaminique marche de pair avec la pigmentation due au carotène. En 1920, le même auteur et ses collaborateurs attribuèrent au carotène l'activité vitaminique.

Cependant, Drummond [1919] annonça que le carotène purifié est inefficace et confirma ces résultats en 1925. D'autre part, les chimistes japonais avaient isolé en 1931 une substance incolore possédant l'activité vitaminique A. Steenbock, de son côté, notait que l'intensité de la coloration ne marche pas toujours de pair avec l'activité vitaminique.

En 1923-1925, M. Javillier rechercha si la vitamine A avait quelque rapport de constitution avec le phytol (on sait maintenant que la vitamine A est du phytol déshydrogéné et cyclisé), et souligna la remarquable ténacité avec laquelle le facteur A reste associé au carotène. Euler établit en 1928 que le carotène possède une activité vitaminique et, en collaboration avec Karrer, montra que cette activité est le fait de carotène même hautement purifié. Collison, Moore obtinrent des résultats identiques.

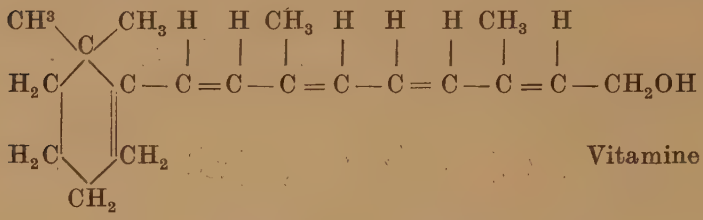
Cependant, Drummond aboutit à des conclusions inverses.

M. Javillier et Mlle Emerique firent alors connaître que du carotène d'épinard est doué d'activité vitaminique A et que du carotène d'ortie soumis à une purification soignée est doué d'une grande activité vitaminique.

Le travail de Euler et Karrer était donc définitivement confirmé. Drummond aboutissait alors aux mêmes conclusions. Simonnet et Penau préparaient de leur côté un carotène très pur et très actif. A la suite de tous ces travaux, il n'y avait plus aucun doute au sujet de l'activité vitaminique du carotène.

On s'aperçut cependant que la vitamine ne s'identifiait pas au carotène. Le carotène ingéré est mis en réserve dans le foie sous forme d'une substance incolore dont le poids moléculaire est plus petit que celui du carotène (Moore, Bruins, Overhoff et Wolff).

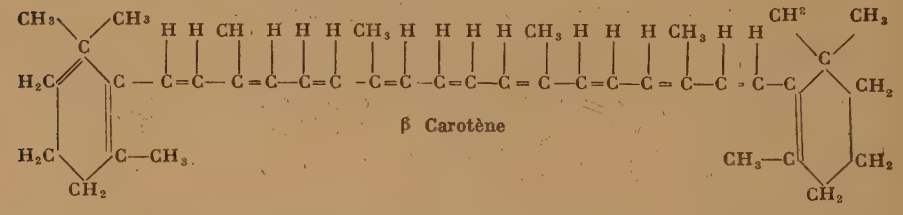
Karrer et ses collaborateurs établirent alors la constitution de la vitamine A.



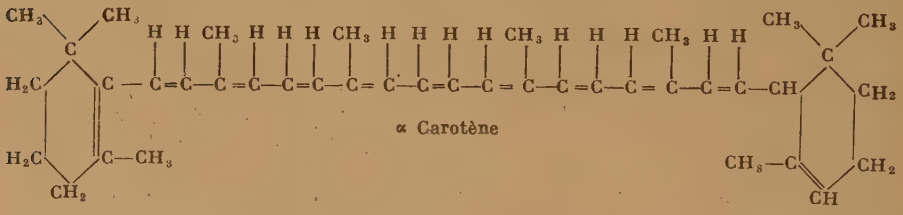
Vitamine A.

La vitamine A provient de la scission hydrolytique des caroténoïdes au milieu de la chaîne.

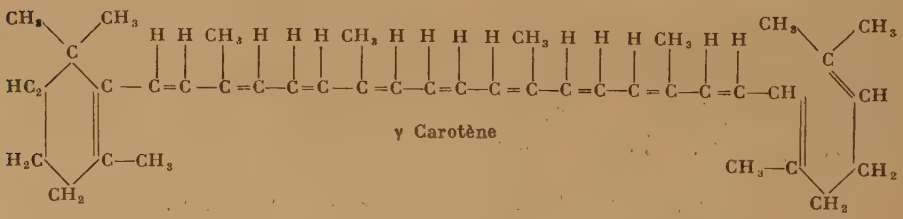
Une molécule de β carotène donne naissance à deux molécules de vitamine. Les carotènes α et γ, la cryptoxanthine ne donnent qu'une seule molécule de vitamine A.



β Carotène



α Carotène



γ Carotène

La vitamine A est un alcool de formule brute $C_{20}HO_{30}$ possédant un cycle identique à celui que l'on trouve dans la β-ionone et une longue chaîne latérale formée par l'enchaînement de restes d'isoprène.

2. Propriétés physiques et chimiques de la vitamine A.

La vitamine A se présente sous forme d'une huile jaune que l'on

a pu, grâce à la congélation fractionnée, amener à cristallisation (Holmes et Corbet).

Dans l'ultra-violet, elle présente une bande d'absorption intense avec un maximum à 328 mμ. La valeur du coefficient pour cette longueur d'onde est $E^{1\%}_{1\ cm} = 1.600$ (Carr et Jewell [3]).

La vitamine A est un alcool. Elle est donc estérifiable.

Avec une solution concentrée de trichlorure d'antimoine dans le chloroforme, elle donne une coloration bleu intense, fugace avec un maximum d'absorption à 620 mμ : c'est la réaction de Carr et Price [4]. Meunier et Raoul [5] ont étudié la cinétique de cette réaction et en ont déduit, dans certaines conditions, une méthode de dosage de la vitamine A. La valeur du coefficient d'extinction à 620 mμ est $E^{1\%}_{1cm} = 5.000$.

La vitamine A s'oxyde à l'air ; elle est également détruite par les radiations ultra-violettes. Les solutions concentrées sont plus sensibles à l'action de l'air que les solutions étendues. Par contre, celles-ci subissent la destruction photochimique plus rapidement que celles-là (Chevallier et collaborateurs [6]).

La vitamine A n'est détruite ni par les alcalis, ni par les acides à froid, mais en présence d'air, en même temps qu'elle s'oxyde, elle perd ses propriétés physiologiques.

Extraite d'abord d'huile de foies de poissons (Karrer), la vitamine A fut ensuite obtenue par synthèse (Kuhn et Morris).

Propriété des caroténoïdes

En raison de sa constitution, le carotène est très oxydable. Il est capable d'absorber trente-cinq fois son poids d'oxygène.

La réaction de Carr et Price est donnée par un grand nombre de pigments caroténoïdes. L'action des acides provoque la formation de nouveaux pigments dont certains ne sont pas physiologiquement actifs (Quackenbush, Steenbock, Peterson) [7].

3. Physiologie de la Vitamine A.

D'après Moore [8], le lieu de la transformation du carotène en vitamine A dans l'organisme animal est le foie. L'expérience physiologique est en accord avec la théorie chimique : le β carotène est sensiblement deux fois plus actif que les carotènes α et γ.

Les xanthophylles n'ont pas d'activité vitaminique, du moins chez les mammifères. La cryptoxanthine est physiologiquement active, ainsi que le lycopène, le myxoxanthène, etc. D'une façon plus générale, les caroténoïdes actifs sont ceux dont la formule

contient un noyau d'ionone β non chargé d'oxygène et un nombre minimum de doubles liaisons conjuguées dans la chaîne.

La transformation du carotène en vitamine A n'a jamais pu être réalisée nettement *in vitro*. Olcott et MacCann l'ont observée en faisant agir des extraits hépatiques sur le carotène, mais leurs conclusions ne purent être confirmées par la suite [9].

La vitamine A, ou axérophtol, est une vitamine de croissance ; elle est antixérophtalmique et anti-infectieuse.

Un test de carence bien étudié est le défaut d'adaptation de la rétine à l'obscurité ou héméralopie. Chez les héméralopes on observe une diminution de la faculté de voir un objet peu éclairé dans une chambre noire ou encore un allongement du temps nécessaire à recouvrer la vision normale après un éblouissement. L'héméralopie précède la xérophtalmie, qui affecte la cornée.

Le taux du sérum sanguin en vitamine A est également un test de carence. Il existe un certain parallélisme entre l'adaptation visuelle à la lumière et la richesse du sang en vitamine.

Le test de colpokératose, qui consiste en une modification de la muqueuse vaginale chez la rate, a été employé pour déceler l'avitaminose A. Plus généralement, dans l'avitaminose A, les épithéliums ont tendance à se kératiniser.

Le syndrome d'hypervitaminose A ne peut être engendré que par des doses considérables de vitamine A. L'administration de carotène est incapable de le provoquer. L'hypervitaminose n'apparaît pas si l'animal reçoit un apport de végétaux verts : les vitamines B interviendraient dans un équilibre avec la vitamine A. Les symptomes sont analogues à ceux de l'avitaminose A.

On ne connaît guère avec précision que le rôle joué par la vitamine A dans certains mécanismes de la vision. Son action intime sur la croissance, sur les épithéliums, son antagonisme vis-à-vis de l'hormone thyroïdienne n'est pas encore connue.

Le métabolisme de base est augmenté chez les rats carencés en vitamine ; il tombe au-dessous du niveau normal lorsqu'on en administre des quantités considérables. La thyroxine compense l'abaissement du métabolisme provoqué par une hypervitaminose.

On ignore à quel phénomène est dû le ralentissement de la croissance au cours de l'avitaminose A. D'après Richards et Orr, il serait dû à une diminution de l'appétit des sujets. Euler et Schmidt pensent que la vitamine A doit avoir une influence sur la division cellulaire et en particulier sur la composition chimique des noyaux. Pour Joyet-Lavergne [10], la vitamine A est un élément de constitution cellulaire. Elle jouerait un rôle important dans le chondriome. Mlle L. Emerique [11] indique, à la suite de

ses recherches chimiques, que la vitamine A pourrait intervenir dans la synthèse des protéines spécifiques des tissus.

Le mécanisme intime de l'action antiinfectieuse n'est pas mieux connu que celui de l'action spécifique de la vitamine sur la croissance. Il s'agirait surtout d'un affaiblissement des défenses naturelles par kératinisation des épithéliums dont le rôle protecteur serait de ce fait affaibli. Cependant, Clausen a montré que le taux sanguin du carotène et de la vitamine A diminue au cours des maladies infectieuses, et Lindqvist a vu que ce taux remonte pendant la convalescence. Toutefois, la diminution de la résistance à l'infection au cours de l'avitaminose A s'observe également dans les infections péritonéales ou intramusculaires (Eustermann et Wilbur), de sorte que ce phénomène de kératinisation des épithéliums n'est pas le seul processus qui puisse expliquer la plus grande réceptivité de l'organisme à l'infection.

4. Dosage de la Vitamine A.

Le dosage de la vitamine A peut s'effectuer par des méthodes se rattachant à trois groupes :

A. La méthode biologique.

B. La méthode physique,

C. La méthode chimique.

A. La méthode biologique

Lorsqu'on carence le rat blanc jeune, la croissance de l'animal est d'abord normale, puis devient subnormale et s'arrête enfin.

Il est indispensable d'opérer sur des lots d'animaux, les comportements des individus pouvant être très différents. On administre à ces animaux de la vitamine A contenue dans le produit étudié. La courbe de croissance reprend et sa pente est fonction de la quantité de vitamine A ingérée. Javillier et ses collaborateurs ont précisé les conditions optima pour le titrage de la vitamine A : il y a lieu de s'assurer que le rat est privé de sa réserve naturelle en vitamine A et que son déclin en poids atteint 10 % du poids total. La quantité donnée expérimentalement est ramenée à 100 grammes de poids corporel de l'animal. Des lots témoins, auxquels on administre des quantités connues de vitamine A fournissent un terme de comparaison.

La méthode biologique ne permet pas de doser séparément le carotène et la vitamine A. C'est un dosage excellent au point de vue physiologique, mais on ne saurait lui demander une très grande précision. Les auteurs reconnaissent à la méthode biologique

un coefficient d'erreur de l'ordre de 20 à 30% dans de bonnes conditions expérimentales.

B. **Méthode physique**

Méthode spectrophotométrique dans l'ultra-violet.

Les produits riches en vitamine A présentent dans l'ultra-violet, à 328 mμ, une absorption caractéristique.

Rappelons que la loi de Beer-Lambert régit l'absorption :

$$\log \frac{Io}{I} = Ecl.$$

E : coefficient d'absorption,

Io : intensité originelle de la radiation,

I : nouvelle intensité,

l : épaisseur,

c : concentration.

Pratiquement l = 1 c = 1%.

Chevallier et Dubouloz [12] ont proposé une nouvelle méthode de dosage basée sur cette propriété.

L'appareil utilisé mesure l'intensité de la lumière ultra-violette transmise par la solution. Elle est dispersée par un monochromateur et mesurée à l'aide d'une cellule photoélectrique sensibilisée par un relai fluorescent au salicylate de sodium. Le courant électrique produit est amplifié, puis mesuré.

On peut aussi employer la méthode spectrographique qui consiste à impressionner une plaque photographique par les radiations ultra-violettes. Le spectre est reproduit sur la plaque. Si l'on intercale sur le faisceau incident une substance absorbante, on perçoit les variations du noircissement qui correspondent à l'absorption.

On étudie les spectrogrammes obtenus en mesurant le noircissement de la plaque à l'aide d'une cellule photoélectrique, ou plus simplement par l'emploi d'un photomètre duplicateur gradué directement en densités optiques.

Chevallier et Chabre [13] ont observé que l'irradiation, au moment de la lecture de l'absorption avec le dispositif spectrophotométrique est elle-même suffisante pour provoquer des modifications dans la courbe. Les mêmes auteurs trouvent que la présence d'acides libres ou de pigments caroténoïdes peut diminuer la précision des mesures. Dans ce dernier cas, on peut employer la correction préconisée par Drummond en tenant compte de

l'absorption à 428 mμ. Ce facteur n'intervient que lorsque coexistent des quantités importantes de carotène et de vitamine A.

Chevallier et Dubouloz [14] ont étudié la destruction photochimique de la vitamine A en milieu alcoolique. Les auteurs aboutissent à deux conclusions :

1. L'irradiation de la vitamine A par $\lambda = 325$ mμ produit une transformation suivant la loi de Grothus-Draper (la destruction de la vitamine A est proportionnelle à chaque instant à la quantité de lumière que cette substance retient).

2. L'ordonnée représentant l'absorption pour $\lambda = 325$ mμ de ce produit est égale, à 1/100^e près, au 2/3 de l'absorption de la vitamine A disparue. Ils soulignent que le dosage de la vitamine A par la seule évaluation de l'ordonnée à 325 mμ peut entraîner de très grosses erreurs.

L'emploi de cette méthode comporte deux restrictions importantes : on ne peut l'utiliser que si la vitamine A est la seule substance détruite par l'irradiation ; on le reconnaîtra à l'invariance des points 365 et 290 ; si ces points se déplacent dès le début de l'expérience, il faut conclure que le mélange contient des substances sensibles au rayonnement ultra-violet : la méthode est inapplicable.

D'autre part, il faut arrêter la destruction photochimique au stade primaire, c'est-à-dire que les produits A' et B' résultant de l'irradiation ne doivent se trouver eux-mêmes détruits.

Dans ces conditions, le déplacement de l'ordonnée à 325 mμ, multipliée par 3 indique véritablement la teneur de la solution en vitamine A seule. L'irradiation de l'alcool alcalin conduit à des résultats tout à fait différents.

Mais Chevallier, Dubouloz et Matheron [15] trouvent que la règle des 2/3 n'est pas applicable à la vitamine A sous la forme alcool. Elle est valable pour les milieux non saponifiés.

Le dosage de la vitamine A sous la forme alcool peut être obtenu en faisant agir un rayonnement ultra-violet continu jusqu'à stabilisation de la courbe d'absorption. Cette opération doit répondre à deux critères :

1. La différence obtenue après stabilisation entre la courbe initiale et la courbe finale doit représenter l'absorption caractéristique de la vitamine A.

2. Cette réaction photochimique doit s'opérer avec la vitesse caractéristique de transformation de la vitamine A.

Ces auteurs remarquent qu'on pourrait également, dans le cas de milieux peu absorbants dans la région 250 mμ, utiliser une particularité de la destruction photochimique de la forme alcool :

l'ordonnée à 250 mμ s'accroît, puis s'arrête à une valeur maximum pour ensuite diminuer.

L'écart entre la position initiale et le maximum est considérable. La mesure de cette variation pourrait servir de référence.

Dosage du carotène

Le β carotène présente des maxima d'absorption à 521, 484 et 452 mμ (dans l'éther de pétrole et le sulfure de carbone). Il est à remarquer que la nature du solvant influe sur l'intensité et la position des maxima d'absorption dans l'ultra-violet.

C. Méthode physico-chimique basée sur la réaction de Carr et Price

Le principe de cette méthode colorimétrique est la mesure de l'intensité de la coloration bleue fournie par ce réactif de Carr et Price avec une solution chloroformique d'insaponifiable du produit étudié. Le coefficient d'extinction à 620 mμ est E = 5.000. Il a l'avantage d'être environ trois fois plus élevé que celui de l'absorption directe à 328 mμ. Cette réaction fut appliquée au dosage de la vitamine A mais donna bientôt prise à de nombreuses critiques.

a) *La spécificité.*

La réaction de Carr et Price est donnée aussi par de nombreux caroténoïdes, à côté de la vitamine A. D'après Rosenthal et Erdely [16], l'addition de pyrocatéchol permettrait de différencier la vitamine A des caroténoïdes. Levine et Richmann [17] trouvent que la réaction de Carr et Price est donnée par les composés monohétérocycliques substitués en 5 : pyrrole, thiophène, furanne. La réaction colorée est modifiée et souvent intensifiée par addition d'anhydride acétique.

Meunier et Raoul [5] ont étudié la cinétique de la réaction de Carr et Price.

En présence d'une certaine quantité d'anhydride acétique, seule la vitamine A fournit une courbe rapidement descendante, le carotène ne donnant qu'un plateau.

Grâce à cette réaction, on peut doser commodément, avec l'électrophotomètre de P. Meunier, le carotène à côté de la vitamine A.

La vitamine A dite « cyclisée » donne cependant la réaction de Carr et Price, bien qu'elle soit dépourvue d'activité biologique (Dulou, Vinet, Meunier [18]).

b) *Les inhibiteurs.*

Rygh [19] a isolé à partir de certains échantillons d'huile de foie de morue un acide gras non saturé capable d'inhiber la réaction de Carr et Price. Emmerie arrive à la même conclusion. Le beurre contiendrait une substance analogue.

Raoul et Janot [20] ont étudié cette question en détail. Ils trouvent que le cholestérol n'a pas d'action inhibitrice.

Le degré de saturation du stérol compte seul dans l'inhibition.

Le calciférol, à la dose de 50 γ pour 2 U. I. de vitamine A exerce une nette action inhibitrice. L'ergostérol donne une coloration rose qui cause une légère erreur par défaut.

Les auteurs concluent que, dans le cas du sang, l'inhibition est faible ou nulle et n'en tiennent pas compte.

c) *Appareillage.*

L'appareil le plus utilisé en France est l'électrophotomètre de Meunier dont on trouvera une description complète dans l'ouvrage de Meunier et Raoul [21] et dans les publications antérieures.

« Il repose sur le montage en opposition de deux cellules au sélénium et sur la compensation des effets photoélectriques par des procédés purement optiques qui laissent inchangé pendant la durée de la mesure le flux lumineux reçu par chaque cellule. »

Les deux flux lumineux opposés sont réglés avant chaque mesure, de façon que les courants photoélectriques qu'ils engendrent s'annulent. Puis l'on introduit dans l'un des circuits la cuve contenant la solution et l'on compense cette surcharge en déplaçant un coin photométrique à l'aide d'un tambour. L'appareil étant étalonné au préalable en carotène et en vitamine A, la lecture des divisions du tambour permet de calculer facilement la concentration de chacun de ces produits.

d) *Calculs.*

On mesure les absorptions avec l'écran orangé et avec l'écran bleu des solutions suivantes :

	Orangé	Bleu
$CHCl^3$ + 1 goutte d'anhydride acétique	a	b
$CHCl^3$ + 1 goutte d'anhydride acétique + 0 cm^3 5 de la solution extractive	e	f

Correction due aux substances étrangères.

Dans le cas du plasma sanguin, seules des substances étrangères au carotène et à la vitamine A absorbent notablement dans l'écran

orangé. Elles ne donnent pas la réaction de Carr et Price mais elles entraînent une erreur égale à e-a (1).

Une seconde correction intervient, car le carotène absorbe très légèrement dans l'écran orangé. Le rapport des absorptions dans l'écran orangé et dans l'écran bleu est calculé lors de l'étalonnage. Soit 1/N ce rapport.

La correction C, qui interviendra dans les calculs sera :

$$C = e - a - \frac{f - b}{N}$$

Taux de carotène.

Si l'étalonnage a donné m division pour 1 γ ce taux sera :

$$x \times \frac{f - (b + C)}{m}$$

Vitamine A.

On suit la réaction dans le temps de 15 en 15 secondes, puis de 30 en 30 secondes, et l'on extrapole la courbe au temps O.

Soit g le chiffre obtenu par extrapolation.

Soit c l'absorption du réactif de Carr et Price pur dans l'écran orangé.

Il faut alors tenir compte de la correction due au carotène. qui donne en effet une coloration bleue avec le réactif de Carr et Price.

On calcule cette correction à l'aide du chiffre précédemment trouvé pour la teneur en carotène : le rapport de la coloration jaune du carotène à la coloration bleue qu'il fournit avec le réactif de Carr et Price est 2,8.

La correction sera :

$$C' = \frac{f - (b + c)}{2,8}$$

Taux de vitamine A :

Si l'étalonnage a donné p U.I. par division du tambour, la teneur en vitamine A sera :

$y = [g - (c + C + C')\ p$ U.I. de vitamine A dans la prise d'essai (calculs de Raoul et Janot [20).

Le dosage du carotène et de la vitamine A s'effectue en quelques minutes. Les résultats pourront être exprimés soit en unités inter-

(1) Ceci suppose l'égalité d'absorption des substances étrangères dans les écrans orangé et bleu.

nationales, soit en microgrammes de vitamine A. Le facteur de conversion n'est pas nettement défini : si le carotène se tranformait quantitativement en vitamine dans l'organisme, le poids de vitamine ayant une activité de 1 U. I. serait 0,64 γ. En réalité, la vitamine A possède une activité deux à deux fois et demie plus grande que celle du carotène, ce qui donne pour le poids de vitamine A correspondant à l'unité internationale 0,25 à 0,32 γ.

On pourra prendre 1 γ = 3 U. I. ; ou encore sensiblement 1 U. I. = 0,35 γ.

CHAPITRE II

LE LAIT

Le lait est le produit de la sécrétion des glandes mammaires ; il caractérise l'importante classe des mammifères.

Le lait de vache a été le mieux étudié en raison de son importance au point de vue alimentaire et de son abondance.

1. La composition du lait de vache

Avec PORCHER [22], nous distinguerons :

a) Les gros et les petits composants ;

b) Les composants de sécrétions et les composants d'excrétion.

Voici, d'après PORCHER, la composition moyenne d'un litre de lait de vache :

					Grammes
Eau					900–900
Extrait sec 125 130 gr.	Lipides	Glycérides	Glycérides simples		35–40
			Phospholipides		0,50–0,75
		Cholestérides			0,100–0,175
		Glucides : Lactose			47–52
	Extrait dégraissé 90 95 gr.	Protides	Protéines	Caséine	27–30
				Albumine	4–5
				Globuline	0,50
			Acides aminés Urée Gr. purique Gr. de la guanidine	Azote non protéique	1–1,50
		Matières salines			9–9,5

Le lait contient comme gros composants : l'eau, la matière grasse, le lactose, les protéines, les matières salines. Les petits constituants organiques comprennent les phospholipides, le cholestérol, l'urée, les acides aminés libres, les dérivés puriques : hypoxanthine, xanthine, adénine, guanine et des dérivés de la guanidine : créatine et créatinine, et l'acide citrique.

Comme petits constituants, citons encore les oligoéléments : iode, arsenic, silicium, bore, lithium, zinc, aluminium, manganèse, fer, cuivre, et enfin les diastases et les vitamines.

a) *L'eau.*

C'est, pondéralement, le composant le plus important du lait de vache. Les matières salines, en solution diluée, peuvent donc subir la dissociation électrolytique.

b) *Les lipides.*

La matière grasse du lait est un mélange de lipides, comprenant des glycérides, des cérides, des étholides, des stérides, des phospholipides et des phosphoaminolipides. Les stérides sont représentés dans le lait par le cholestérol libre et estérifié. Le lait contient également des lécithides et des céphalides.

On désigne souvent sous le terme de lipoïdes tous les lipides, sauf les glycérides, les pigments caroténoïdes étant englobés sous cette dénomination.

La majeure partie des lipides du lait se trouve à l'état de simple émulsion. Cependant, Machebœuf et Tayeau[23] ont montré qu'une petite quantité de substance lipoïdique et tout particulièrement des phosphatides et du cholestérol, est liée avec des protéides pour former des cénapses lipo-protéiques comparables à celles qui existent dans le sérum et dans le plasma sanguin (Machebœuf).

Le lactose est le seul glucide naturel qui apporte du galactose au jeune être.

c) *Les protides.*

Les protides du lait comprennent la caséine, l'albumine et la globuline. Seule la caséine contient du phosphore.

Les recherches de Crowther et Raistrick [24] et de Woodman [25] ont montré que les globulines de sérum sanguin, du colostrum et du lait sont identiques. L'albumine du sérum se différencierait de celle qui se trouve dans le colostrum et dans le lait.

d) *Matières salines.*

Certaines matières salines, telles que les phosphates de calcium et de magnésium existent dans le lait sous forme colloïdale. Le caséinate de calcium peut être également considéré comme un sel colloïdal. Certains sels, tels que le chlorure de sodium, existent dans le lait sous forme de solution vraie.

e) *Diastases.*

On rencontre dans le lait des diastases de décomposition (catalase), des diastases d'oxydation et de réduction (péroxydase et réductase), des diatases hydrolysantes (amylase, phosphatase, lipase).

f) *Vitamines.*

Le lait contient les vitamines A, B_1, B_2, C, D, PP, qui ont une origine alimentaire.

g) *Le lait au point de vue physico-chimique.*

Le lait affecte à la fois les caractère d'une émulsion, les caractères d'une solution colloïdale et d'une solution vraie.

Le lait est une émulsion par la dispersion de la matière grasse qu'il renferme. La stabilité de cette émulsion n'est pas très grande. Au point de vue chimique, les colloïdes du lait forment un mélange hétérogène. On y trouve des colloïdes organiques, les protéines, et des colloïdes minéraux, les phosphates de calcium et de magnésium. Tous les colloïdes du lait sont hydrophiles. « Ils sont mélangés intimement les uns aux autres, se protégeant souvent l'un l'autre ; c'est cette protection qui assure la stabilité du mélange. » (Porcher.) L'albumine et la globuline sont, en raison de la petitesse relative de leur particule, considérées comme des colloïdes moléculaires. La caséine existe sous forme saline en affectant l'aspect de micelles d'assez grosse dimension.

Le lait enfin est une solution vraie, solution ionique par ses sels qui sont des électrolytes, solution moléculaire pour les non-électrolytes.

2. Physiologie de la sécrétion lactée

a) La mamelle est une glande cutanée et résulte du développement de la crête mammaire du fœtus. Son développement et son fonctionnement sont liés à l'activité sexuelle. Elle est constituée par l'élément glandulaire proprement dit et le tissu conjonctif où l'on trouve des vaisseaux sanguins, lymphatiques et les nerfs. Dans ce tissu conjonctif se trouve noyé l'élément glandulaire proprement dit, formé par la réunion d'un nombre variable de glandes identiques constituées chacune d'acini sécréteurs, groupés en lobules glandulaires. Chaque acinus est terminé par un canal intra-lobulaire et leur réunion constitue le canal galactophore qui s'ouvre à l'extérieur.

Chez les bovins, la mamelle est formée de quatre glandes ou quartiers groupées elles-mêmes en deux glandes, deux droites et deux gauches séparées par un plan de tissu conjonctif qui isole les deux glandes droites et les deux glandes gauches. Les quartiers postérieurs sont plus développés que les quartiers antérieurs.

Les canaux galactophores se terminent dans le sinus galactophore, qui communique avec l'extérieur par le canal du trayon.

La glande mammaire est irriguée par l'artère mammaire

honteuse externe. Les veines sont plus nombreuses que les artères et le sang efférent fait retour à la circulation générale par les veines mammaires antérieures et sous-cutanées abdominales qui vont se jeter dans la veine thoracique interne (l'endroit où ces veines pénètrent dans l'abdomen est appelé les portes ou fontaines du lait), et par deux veines latérales et deux postérieures. L'activité circulatoire dans la mamelle est considérable. Cet organe peut contenir 40% du sang total.

Le système lymphatique de la mamelle est très important.

Chez la vache, existe le système lymphatique à la surface des trayons, le système lymphatique du sinus galactophore, et celui du parenchyme. Les lymphatiques de la mamelle aboutissent à deux ganglions difficiles à explorer. Le tissu du trayon est riche en tissu élastique et le système sanguin et lymphatique y sont développés.

Le développement de la glande mammaire pendant la gestation est conditionné par deux hormones : la folliculine et la progestérone.

La sécrétion lactée ne s'établit que lorsque la mamelle atteint un certain volume. Elle n'apparaît que lorsque la folliculine a disparu. A ce moment, l'hypophyse produit une hormone, la prolactine qui déclanche la sécrétion du lait.

b) *Histologie de la glande mammaire.* Les acini sont constitués par une membrane basale sans structure. A l'extérieur, on trouve une assise de cellules myoépithéliales constituant une sorte de réseau autour de l'acinus (Panier de Boll). L'assise interne est constituée par une couche continue de cellules sécrétrices proprement dites. Ce sont des cellules épithéliales glandulaires pourvues d'un noyau.

Au moment de la sécrétion, le noyau se dédouble, et la partie la plus centrale est évacuée, ainsi que la matière grasse, dans la cavité de l'acinus. La partie extrême de la cellule est alors riche en mitochondries. La cellule se divise, la partie restant fixée à la basale sert à reconstituer la cellule, et la partie apicale constitue le produit de sécrétion.

c) *Composés de sécrétion et composés d'excrétion.* La cellule mammaire extrait du sang ce qui lui est indispensable pour l'édification des principes caractéristiques du lait. Mais elle joue aussi le rôle d'émonctoire, car elle est traversée par une petite quantité de composés que le rein se doit d'éliminer : sulfates, chlorures, corps puriques, créatine, créatinine. Les vitamines sont également des produits d'excrétion.

La mamelle est un organe de sécrétion pour les lipides, la caséine, le lactose, l'acide citrique.

d) *Origine des constituants du lait.* Le lactose provient du glucose sanguin qui se combine à du galactose dans la glande mammaire — ce galactose provenant lui-même du glucose.

Les matières protéiques ont pour origine les acides aminés du sang. Rappelons que les globulines du sang et du lait sont identiques, et que la phosphorylation des globulines donne un produit qui possède les propriétés de la caséine (Rimington) [26].

Le phosphore de la caséine a pour origine principale les phosphate minéraux du sang. Les lipides du lait ont une double origine : les graisses alimentaires et les glucides.

La synthèse des lipides à partir des glucides a lieu dans la mamelle (Graham [27], Stonecipher, Reinecke, Turner [28]).

La teneur totale du lait en matières minérales est comparable à celle du sérum sanguin. Ces deux milieux sont d'ailleurs isotoniques. Les diastases proviennent soit du sang, soit des cellules de la glande mammaire, et les vitamines ont une origine alimentaire.

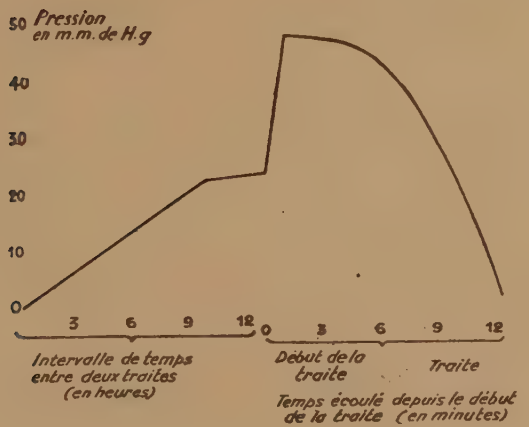


FIG. I

Variation de la pression intra-mammaire

(*d'après* Tgetgel).

Pietttre [29] a étudié les sécrétions pré et post lactées et attribue à la mamelle une activité trophique, où elle se comporte comme une glande indifférente, qui, recevant des aliments apportés par la circulation, élabore avec eux notamment des substances protéiques, et particulièrement une myxoprotéine, dont l'excès doit être expulsé.

e) *Influence des produits de sécrétion sur la composition du lait.* La pression croît dans la mamelle en fonction du temps écoulé depuis la traite précédente.

Le diagramme dû à Tgetgel [30] montre les variations de pression avant et pendant la traite.

Hammond [31] conclut que l'accumulation de la matière grasse dans la mamelle, et l'augmentation de la pression intra-mammaire ralentit la sécrétion des lipides (après Swett, Miller, Graves et Creech [32]). On sait, en effet, que le lait du matin, obtenu après un long intervalle a un taux butyreux plus faible que celui du soir, obtenu après un intervalle plus court.

Ragsdale, Brody et Turner [33] ont trouvé que la quantité de lait sécrété dans chaque intervalle horaire atteint les 95/100e de la quantité sécrétée dans l'intervalle horaire précédent.

Les auteurs pensaient que le phénomène était régi par la loi d'action des masses, mais c'est à l'accroissement de la pression qu'il faut l'attribuer

DEUXIÈME PARTIE

TRAVAUX PERSONNELS

BUT DE CE TRAVAIL

Nos connaissances sur les processus selon lesquels les composants de sécrétion et les composants d'excrétion sont élaborés par la glande mammaire sont extrêmement restreintes.

Cette étude biochimique et physiologique sur le comportement de la vitamine A dans le sang et dans le lait a pour but de contribuer à l'étude de l'excrétion de la vitamine A par la sécrétion lactée et des facteurs qui peuvent l'influencer.

Le présent travail comprend différentes parties :

Après la partie consacrée aux généralités sur la vitamine A et sur le lait on trouvera :

1. Une partie chimique (chapitre I).

Nous y étudions le dosage de la vitamine A dans le lait.

2. Une partie biochimique.

Nous y recherchons sous quel état se trouve la vitamine A dans le lait, et plus particulièrement dans le lait écrémé (chapitre II). La conservation de la vitamine A du lait conservé dans différentes conditions est étudiée dans le chapitre III.

3. Une partie physiologique.

Le chapitre IV est consacré à l'étude de la relation qui existe entre la quantité de carotène apportée par l'alimentation, et les teneurs du sang et du lait en carotène et en vitamine A.

On y trouvera également une étude sur le colostrum.

Dans le chapitre suivant, nous étudions la relation qui existe entre la teneur du premier colostrum en vitamine A et l'âge de l'animal.

Les teneurs comparées du lait en lipides, en carotène et en vitamine A en fonction de la pression intra-mammaire font l'objet du chapitre VI.

Le chapitre VII est une étude sur l'influence du carotène et de petites quantités de vitamine A sur la teneur du lait en carotène et en vitamine A. On y note également les variations raciales, individuelles, etc.

Enfin, on trouvera un résumé des conclusions générales (chapitre VIII).

La femelle laitière qui constitue le sujet d'expérience le plus commode et le moins sujet à erreur pour une étude sur la lactation, en raison des grandes quantités de lait fournies, est la vache. Dans ce travail, nous étudierons donc spécialement le lait de vache.

CHAPITRE I

PARTIE CHIMIQUE

Dosage de la vitamine A et du carotène dans le lait

Pour que ces recherches sur la vitamine A dans le lait reposent sur une base solide, il est indispensable de disposer d'une méthode de dosage offrant le maximum de sécurité. Nous nous sommes efforcés d'employer une méthode juste et surtout fidèle.

En effet, dans l'étude biochimique et physiologique que nous avons entreprise, il fallait que la méthode choisie donne des résultats comparables dans des conditions bien déterminées. Il fallait aussi que la méthode adoptée soit susceptible d'être appliquée à des dosages en série, donc qu'elle soit rapide et commode.

La validité du dosage de la vitamine A dépend de deux facteurs principaux : 1° la préparation de l'insaponifiable ; 2° l'estimation de la teneur de l'insaponifiable en vitamine A.

1. Préparation de l'insaponifiable.

A. Le matériel de départ peut être soit le lait lui-même, soit le beurre. Il est préférable d'employer le lait. En dehors de l'avantage de la commodité, ce choix se justifie, car il reste dans le lait écrémé une partie du carotène et de la vitamine A du lait entier (voir page 46). D'autre part, pendant le barratage, la matière grasse est exposée à une aération considérable, et il est très concevable qu'il puisse y avoir perte de carotène et de vitamine A par oxydation. Cependant Kon, Gillam et White [34] trouvent que du carotène se perd par barattage, mais que la vitamine A n'est pas affectée de manière appréciable. Enfin, le babeurre entraîne une partie du facteur A.

D'après de Hass et Meulemans [35], pendant le barattage, la presque totalité de la vitamine A reste dans le beurre, une petite fraction allant dans le babeurre. Willsteadt et With [36] trouvent 120 unités de vitamine A par litre de babeurre.

B. *Saponification.*

La potasse, en solution aqueuse ou alcoolique, a été employée par tous les auteurs pour effectuer la saponification du lait. Dann [37] trouve qu'il n'y a pas de destruction de la vitamine A durant le traitement du lait par la potasse aqueuse. Baumann et Steen-

BOCK [38] emploient la potasse alcoolique pour saponifier le beurre. Quelques auteurs ont tenté d'appliquer la méthode de Röse-Gottlieb pour extraire le carotène et la vitamine A du lait. OLSON, HEGSTEAD et PETERSON [39] ont décrit une technique basée sur cette méthode, qui consiste à dissoudre les protéines du lait dans l'ammoniaque et à extraire la matière grasse par un mélange d'alcool, d'éther et d'éther de pétrole, puis de la saponifier par la potasse. WILLSTEADT et WITH [36], simultanément, emploient la même méthode et trouvent que l'extraction n'est pas totale. Les résultats de Van BEVER [40] montrent également que cette méthode ne donne pas des résultats satisfaisants.

Un certain nombre de techniques permettant de préparer les insaponifiables à partir du lait ont été publiées par WILLSTEADT et WITH [36], par Van WIJNGAARDEN [96], dont la technique a été reprise par Van BEVER [40], puis par MEUNIER et VINET [41], et par CHEVALLIER et MANUEL [42].

Technique de Willsteadt et With.

Traiter 100 cm³ de lait bien homogénéisé par 1/10ᵉ de leur volume de potasse à 60 %. Remplir la fiole d'azote, la boucher fortement, agiter et abandonner 48 heures à la température ordinaire, à l'obscurité, l'agitation étant fréquemment reproduite.

Ensuite, mettre 20 cm³ d'alcool à 96° et extraire par trois fois 50 cm³ d'éther exempt de peroxyde (une éventuelle émulsion serait détruite par addition supplémentaire d'alcool). Laver les extraits réunis deux fois avec un peu d'eau, puis une fois avec de la potasse à 5 % et deux fois avec beaucoup d'eau, puis sécher et évaporer.

Technique de Van Wijngaarden (à froid).

Dans un Erlenmeyer de 500 cm³, mettre : 100 cm³ de lait et une solution chaude de 20 grammes de potasse dans 10 grammes d'eau. Remplir la fiole d'azote et abandonner au moins 100 heures à l'obscurité. L'agiter de temps en temps. Dix minutes avant l'extraction, ajouter 100 cm³ d'alcool à 96° et agiter jusqu'à ce que les produits solides soient dissous. Extraire par 100, 100 et 50 cm³ d'éther de pétrole. Agiter fortement une minute à chaque extraction. Laver cinq fois par 250 cm³ d'eau. Sécher sur sulfate de sodium (16 heures à l'obscurité), filtrer, distiller.

Technique de Van Wijngaarden (à chaud).

Dans un ballon, mettre : 100 cm³ de lait, 100 cm³ d'alcool à 96° et une solution chaude de potasse dans 10 grammes d'eau. Saponifier 2 heures au bain-marie, à reflux. Extraire et continuer comme dans la technique précédente.

Technique de Chevallier et Manuel.

Prendre 25 cm³ de lait bien homogénéisé, ajouter 12 cm³ de potasse à 60 %. Porter à l'étuve 55° pendant trois jours. L'extraction s'effectue par 40 cm³ d'éther. Décanter, laver trois ou quatre fois avec 5 cm³ d'eau, évaporer au bain-marie.

Cette technique ne donne pas toujours des résultats satisfaisants. Il se forme presque toujours des émulsions. L'addition d'alcool avant l'extraction permet d'obvier à cet inconvénient.

B. *Extraction de l'insaponifiable.*

L'extraction de la vitamine A et du carotène à partir des produits saponifiés s'effectue soit par l'éther, soit par l'éther de pétrole. L'éther doit être préalablement privé de peroxyde par rectification sur chlorure stanneux ou par traitement à l'hydroxyde ferreux.

Pour être complète, l'extraction doit se faire en plusieurs fois. Van Beyer trouve que pour 100 cm³ de lait, une extraction par cinq fois 70 cm³ d'éther de pétrole est nécessaire.

L'extrait séché sur sulfate de sodium anhydre est évaporé et réduit à petit volume, puis évaporé et desséché sous vide.

Toutes ces opérations doivent se faire à l'abri de la lumière.

* * *

Notre but n'étant pas de faire une étude complète sur le dosage de la vitamine A, nous avons simplement comparé quelques résultats obtenus en utilisant ces différentes techniques. Nous avons voulu constater si les écarts entre les différents résultats donnés par chacune des techniques décrites sont considérables.

Les dosages étaient effectués à l'aide de la réaction de Carr et Price, en utilisant l'électrophotomètre de P. Meunier. Les insaponifiables évaporés sous vide sont repris par 5 cm³ de chloroforme rectifié et recueilli sur chlorure de calcium. 0 cm³ 5 d'extrait chloroformique est employé pour le dosage.

Le tableau I réunit les résultats obtenus, exprimés en microgrammes de carotène et de vitamine A par litre. Les insaponifiables proviennent de lait entier non pasteurisé des mois de juin et juillet. La technique de Van Wijngaarden a froid est utilisée arbitrairement comme méthode de référence, par raison de commodité.

Les résultats obtenus en utilisant les autres techniques diffèrent peu du chiffre de référence : en ce qui concerne le dosage de la vitamine A, l'écart ne dépasse pas 10 %. Il est soit positif, soit négatif. Or, la précision des mesures est de l'ordre de 5 %. L'erreur

maximum faite en comparant deux chiffres donnés avec cette approximation étant 10 %, l'écart entre les chiffres expérimentaux est donc de l'ordre de la précision des mesures.

La méthode de saponification à chaud selon Van Wijngaarden est rapide et susceptible d'être appliquée à des dosages en série. Les résultats précédents montrent qu'elle donne des résultats identiques à ceux fournis par les autres méthodes. Nous l'avons donc adoptée pour tous les dosages effectués ultérieurement, en utilisant la technique expérimentale décrite page 43.

TABLEAU I

MICROGRAMMES DE CAROTÈNE ET DE VITAMINE A PAR LITRE

	Vitamine A	Ecart %	Carotène	Ecart %
Lait A.				
Méthode Van Wijngaarden (à froid)	315	—	—	—
Méthode Van Wijngaarden (à chaud)	307	— 2,2	—	—
Lait B.				
Méthode Van Wijngaarden (à froid)	310	—	355	—
Méthode Van Wijngaarden (à chaud)	320	+ 2,8	400	+ 12,6
Lait C.				
Méthode Van Wijngaarden (à froid)	425	—	530	—
Méthode Willsteadt-With	465	+ 9,5	520	— 0,5
Lait D.				
Méthode Van Wijngaarden (à froid)	401	—	360	—
Méthode Chevallier-Manuel	445	+ 10,5	—	—
Lait E.				
Méthode Van Wijngaarden (à froid)	325	—	300	—
Méthode Van Wijngaarden (à chaud)	310	— 4,3	350	+ 16
Méthode Willsteadt-With	310	— 4,3	360	+ 20
Méthode Chevallier-Manuel	297	— 8,6	360	+ 16

2. Comparaison des méthodes de dosage.

La méthode biologique étant longue et peu sensible, nous n'envisagerons ici que les méthodes physique et chimique.

A. Méthode spectrophotométrique dans l'ultra-violet, où l'on mesure l'intensité de l'absorption sélective de la vitamine A à 328 mμ.

B. Méthode colorimétrique basée sur la réaction de Carr et Price.

Nous avons déjà étudié les grandes lignes de ces méthodes dans la première partie. Envisageons les avantages et les inconvénients de chacune de ces méthodes pour le dosage du carotène et de la vitamine A du lait.

a) *Carotène.*

D'après Schrewsbury et Kraybill [43], le dosage colorimétrique du carotène dans le beurre fondu par comparaison directe avec un étalon au bichromate n'est pas exact. Les résultats obtenus sont plusieurs fois trop forts. D'après ces auteurs, le carotène et le beurre dissous dans l'éther de pétrole peuvent être dosés avec une grande précision par la méthode spectrophotométrique. Goldblatt et Barnett arrivent à la même conclusion : l'intensité de la couleur du carotène dans l'huile est plusieurs fois plus forte que celle d'une égale quantité dissoute dans l'éther de pétrole. Quand une quantité connue de carotène est ajoutée à cet échantillon, la quantité théorique est retrouvée spectrophotométriquement tandis que cette quantité, multipliée par deux, est obtenue par la méthode colorimétrique.

b) *Vitamine A.*

La méthode spectrophotométrique a été appliquée par Baumann et Steenbock [38]. Ces auteurs trouvent que les produits qui absorbent dans la même région du spectre que la vitamine A sont des produits d'oxydation des caroténoïdes. Ces substances n'absorbent pas d'une façon appréciable à 325 mμ quand leur concentration, mesurée par l'absorption à 280 mμ, est relativement faible. Il faut donc éliminer toute analyse où l'absorption à 280 mμ est supérieure à celle à 328 mμ. Gillam [44] trouve que l'absorption à 328 mμ est due principalement à la vitamine A, mais aussi au carotène et aux xanthophylles. Olson, Hegstead et Peterson [39] emploient également la méthode physique. D'après Van Bever [40], la méthode spectrophotométrique seule n'est pas sûre. Chevallier et Manuel [42] décrivent une technique basée sur la méthode spectrophotométrique : étude des courbes d'absorption avant et après irradiation. L'examen de l'insaponifiable donne une courbe d'absorption qui montre une inflexion marquée dans la région 320-330 mμ. L'irradiation de la solution fait disparaître dans un

temps très court cette inflexion. Une nouvelle courbe étant établie, sa différence avec la première mesure la quantité de vitamine A initialement présente dans le lait.

Le point délicat de cette technique est évidemment d'être sûr que toutes les substances absorbant 325 mμ ne sont pas du tout touchées par l'irradiation.

Cependant, le fait que la différence des ordonnées à diverses longueurs d'onde représente une courbe caractéristique de la vitamine A permet de s'assurer que l'irradiation a détruit spécifiquement la vitamine A (Chevallier-Duboulloz-Matheron).

Un autre inconvénient est d'opérer par différence de grandeurs assez voisines lorsque les solutions sont diluées comme c'est le cas pour le sang et le lait. Cette technique constitue néanmoins un test qualitatif précieux.

B. *Méthode chimique : réaction de Carr et Price.*

Rappelons que le coefficient d'extinction à 620 mμ est $E^{1\%}_{1cm}$ = 5.000 alors qu'à 328 mμ il n'est que 1.600.

La sensibilité très grande de la réaction de Carr et Price est ici favorable, en raison de la faible teneur du lait en vitamine A. Cependant, la réaction de Carr et Price présente des inconvénients. D'après Booth et Collaborateurs, la réaction de Carr-Price ne peut être appliquée directement au beurre, en raison de la présence d'un inhibiteur qui présente des variations saisonnières. Cet inhibiteur serait plus abondant quand les bêtes sont au pâturage que lorsqu'elles sont à l'étable.

Il a été établi par Gillam [44] que, même après saponification du beurre, la valeur obtenue au moyen de la réaction de Carr-Price est inférieure à celle obtenue par la mesure de l'absorption à 328 mμ. Ce résultat a été confirmé par Van Beyer [40].

Raoul et Janot [20] ont montré que le calciférol — et plus généralement les stérols non saturés — peuvent inhiber la réaction de Carr et Price mais cette inhibition n'intervient que lorsque ces substances sont en grand excès par rapport à la vitamine A. Ce n'est pas le cas pour le lait. D'autre part, les acides gras non saturés qui pourraient jouer le rôle d'inhibiteurs sont éliminés par la saponification.

On peut donc admettre que les substances insaponifiables du lait n'ont pas d'action inhibitrice sur la réaction de Carr-Price. Nous avons vu également, que depuis les travaux de Meunier et Raoul et Raoul et Janot il est possible de doser séparément le carotène et la vitamine A. On ne peut donc plus reprocher à la réaction de Carr et Price son manque de spécificité.

Le dosage de la vitamine A dans les huiles de poisson par la méthode colorimétrique (réaction de Carr et Price modifiée) et par la méthode spectrophotométrique conduisent à des résultats sensiblement identiques ; Chevallier [45] et Collaborateurs, Meunier et Raoul [46]. Cependant, dans les milieux naturels tels que le sang et le lait, la présence de caroténoïdes et de substances étragères est susceptible de provoquer des difficultés dans l'interprétation des courbes spectrophotométriques d'une part, et de diminuer la précision de la mesure de la teneur en vitamine par la réaction de Carr et Price, d'autre part. C'est pourquoi nous avons comparé les deux méthodes de dosage en étudiant la teneur en vitamine A d'échantillons de lait et de colostrum. Le colostrum est un milieu très complexe dont la composition diffère de celle du lait. Sa teneur en carotène et en vitamine A est très élevée, mais il contient aussi une quantité importante de stérols et de substances dont le taux varie d'un échantillon à l'autre pour un même animal.

Nous nous sommes donc placés dans les conditions vraisemblablement les plus mauvaises et susceptibles de donner l'écart maximum entre les chiffres fournis par chacune des méthodes.

Les dosages spectrophotométriques étaient effectués sur les fractions insaponifiables de ces échantillons, par spectrophotométrie d'absorption directe. Le facteur de conversion en unités pondérales de la valeur d'absorption au maximum 328 mμ pour la vitamine A est pris égal à 1/1.800 (1). Les dosages chimiques étaient effectués sur les insaponifiables en solution chloroformique, préparés selon la technique décrite plus haut.

Le carotène était dosé spectrophotométriquement et, d'autre part, par colorimétrie.

Nous avons étudié 17 échantillons. Pour certains, le dosage de la vitamine A n'a pu être fait. Les résultats sont consignés dans le tableau II.

L'examen de ce tableau montre que l'écart pour cent, en valeur absolue, entre les chiffres fournis respectivement par les dosages physique et chimique est généralement inférieur à 35%. Il atteint exceptionnellement un taux supérieur à ce dernier. On obtient en général des résultats voisins. L'écart est de l'ordre de grandeur de l'approximation du dosage biologique.

Rappelons que la plupart de ces comparaisons ont été effectuées en étudiant des échantillons de colostrum dont la composition présente une grande complexité et dont l'insaponifiable est plus abondant que celui du lait.

En ce qui concerne le dosage du carotène, les chiffres fournis

(1) Nous remercions *M. Vacher*, Chef du Laboratoire de Physique du Laboratoire Central du Ravitaillement, qui a bien voulu se charger de ce travail.

par la méthode colorimétrique directe à l'électrophotomètre de P. Meunier (écran bleu) sont généralement supérieurs à ceux trouvés par la spectrophotométrie : sur 16 résultats, 14 présentent un écart positif par rapport à la méthode de référence.

L'écart entre les chiffres trouvés pour la vitamine A est soit positif, soit négatif.

Remarque au sujet du dosage du carotène.

Il est bien entendu que le dosage du carotène par la méthode colorimétrique directe n'est en réalité qu'un dosage des pigments jaunes du lait.

TABLEAU II

VITAMINE A ET CAROTÈNE EN MICROGRAMMES PAR LITRE

	Spectrophotométrie		Carr-Price		Ecart %		Rapport spectro. Carr-Price
	Carotène	Vitamine A	Carotène	Vitamine A	Carotène	Vitamine A	
Lait I	186	—	260	—	+ 40	—	—
Lait II	168	238	275	205	+ 64	— 13,8	1,16
Lait III	224	355	265	220	+ 18,3	— 38	1,52
Lait IV	300	—	360	230	+ 20	—	—
Colostrum I	1.000	535	—	—	—	—	—
Colostrum II	437	850	2.230	1.125	+ 410	+ 32,3	0,751
Colostrum III	1.000	1.740	1.800	1.200	+ 80	— 31	1,45
Colostrum IV	615	1.000	1.300	1.100	+ 112	+ 10	0,92
Colostrum V	485	810	520	600	+ 23,7	— 26	1,35
Colostrum VI	2.670	2.350	2.600	1.920	— 2,6	— 18,3	1,22
Colostrum VII	1.500	1.710	1.850	2.470	+ 23	+ 44,5	0,68
Colostrum VIII	1.500	1.960	1.910	2.270	+ 27,5	+ 15,9	0,86
Colostrum IX	400	750	550	740	+ 37,5	+ 1,3	1,02
Colostrum X	1.350	3.850	2.850	1.150	+ 111	— 64	3,4
Colostrum XI	410	1.000	760	1.100	+ 85	+ 10	0,91
Colostrum XII	210	450	600	850	+ 186	+ 89	0,53
Colostrum XIII	90	—	260	425	+ 167	—	—

Cependant, le pigment quantitativement le plus important est le β-carotène (Strain [47]). Le rapport carotène/xanthophylle serait constant : il y aurait 94 % de carotène et 6 % de xanthophylle (Gillam [44], de Hass et Meulemans [35]).

La proportion des formes α et β peut varier considérablement suivant les échantillons. La teneur en α-carotène est augmentée si cet isomère est plus abondant dans l'alimentation. D'après Gillam et el Ridi [48], elle serait toujours inférieure à 0,3 %.

Notons enfin que l'intensité de la coloration bleue produite pendant la réaction de Carr et Price suit la loi de Beer.

En résumé, la réaction de Carr et Price appliquée aux insaponifiables de lait et de colostrum donne des résultats qui ne diffèrent pas généralement de plus de 35 % des chiffres fournis par la méthode spectrophotométrique.

Les chiffres trouvés pour le carotène sont plus élevés par la méthode colorimétrique que par la méthode spectrophotométrique.

Dans la suite de ce travail, nous avons toujours effectué le dosage de la vitamine A par la réaction de Carr et Price modifiée par Meunier et Raoul. La technique expérimentale était rigoureusement respectée dans toute la série des dosages. Les résultats obtenus sont donc comparables en toute rigueur, et c'est d'ailleurs leur valeur relative plus que leur valeur absolue qui importe dans les expériences exposées plus loin. Comme, d'autre part, l'accord de la méthode adoptée avec la méthode spectrophotométrique est assez satisfaisant, nous disposons d'une méthode offrant des garanties de justesse.

Cette méthode présente également des avantages de commodité et de rapidité. Elle peut être appliquée par un personnel non spécialisé ; l'interprétation de la courbe cinétique est en effet fort simple en comparaison de celle que nécessite la méthode spectrophotométrique.

Pour terminer, nous rappellerons le mode opératoire détaillé que nous avons employé.

Mode opératoire pour le dosage de la vitamine A et du carotène dans le lait et le colostrum.

Nous opérons nos dosages à partir de 50 cm³ seulement de lait.

Saponification et extraction.

50 cm³ de lait bien homogénéisé par agitation modérée sont additionnés de 10 grammes de potasse dans 5 cm³ d'eau, puis de 50 cm³ d'alcool à 96°, dans un Erlenmeyer de 250 cm³ muni d'un réfrigérant ascendant. On porte au bain-marie bouillant pendant 2 heures. Après refroidissement, le lait saponifié est mis dans une ampoule à décantation de 500 cm³ et extrait par 50, 50 et 50 cm³ d'éther de pétrole 5 (P. E. 35-60).

Les trois extraits réunis sont lavés en versant cinq fois 250 cm³ d'eau sans agiter par retournement.

On fait passer l'extrait lavé dans un Erlenmeyer de 200 cm³ dont le fond est garni de sulfate de sodium anhydre. On abandonne à l'obscurité, et mieux, à la glacière 2-3° pendant plusieurs heures.

On filtre. On évapore au bain-marie sans dépasser 80° et à l'abri de la lumière.

Lorsqu'il ne reste plus que quelques centimètres cubes d'extrait, on transvase dans un petit cristallisoir à bec et évapore sous vide (pompe à vide ou trompe à eau munie d'un barbotteur à acide sulfurique), le dessiccateur étant garni d'anhydride phosphorique. On évapore à sec, puis on laisse sous vide quelques heures à l'abri de la lumière.

On reprend l'insaponifiable par du chloroforme rectifié sur chlorure de calcium et recueilli sur chlorure de calcium.

On ajuste en fiole jaugée de 5, 10 ou 20 cm³ selon la teneur présumée du lait en vitamine A, de façon à opérer à concentration sensiblement constante.

La réaction s'effectue sur 0 cm³ 5 de cet extrait, dans la cuve pour microdosage de l'électrophotomètre de P. Meunier (diaphragme 4).

Le mode de calcul a été exposé par Meunier et Raoul [21].

Cas du colostrum.

25 cm³ de colostrum seulement sont nécessaires pour le dosage. Saponifier avec 5 grammes de potasse seulement et continuer comme précédemment.

Dosage du carotène et de la vitamine A dans le sang.

Le sang est recueilli sur oxalate. Effectuer le dosage sur le plasma selon la technique de Raoul et Janot [20].

Additionner le plasma provenant de 20 cm³ de sang de 10 % en volume de lessive de potasse et chauffer une demie heure à reflux au bain-marie bouillant, en agitant de temps en temps. Refroidir sous courant d'eau, ajouter 5 à 7 cm³ d'alcool à 95° et extraire par 50, 50 et 50 cm³ d'éther de pétrole. Nous avons substitué l'éther de pétrole à l'éther préconisé par Raoul et Janot. Continuer les opérations comme il a été indiqué pour le lait.

CHAPITRE II

ÉTAT DU CAROTÈNE DE LA VITAMINE A DANS LE LAIT

On sait que la vitamine A est une vitamine liposoluble. Cependant, les travaux de PALMER [49] et VANDENBERGH [50] nous apprennent que le carotène du sérum sanguin est lié à l'albumine sous forme de caroto-albumine (PALMER).

D'autre part, MACHEBŒUF [55], SANDOR, ont montré que la presque totalité des lipides du sérum sanguin est liée aux protides, albumine et globuline. Le carotène participerait donc aux cénapses lipo-protéiques du sérum. SANDOR [51] pense que le carotène interviendrait dans la stabilité de ces cénapses (dans le sérum du cheval).

Nous recherchons, ici, si, dans le lait, le carotène et la vitamine A sont simplement dissous dans les lipides émulsionnés. Ceci est intéressant à bien des points de vue, et entre autre, en ce qui concerne la physiologie de la mamelle, pour étudier l'élaboration dans la glande mammaire du facteur A et des lipides.

* * *

1. Le carotène et la vitamine A dans le lait écrémé.

A. *Teneur du lait écrémé en carotène et en vitamine A.*

Le lait écrémé n'est pas absolument exempt de carotène et de vitamine A. Les résultats obtenus par les différents auteurs, qui utilisèrent non seulement des méthodes de dosages différentes, mais aussi qui partaient soit du lait (MORGAN [52], WILLSTEADH et WITH [36]), soit de la caséine (COWARD et KAY [53], MAITRA et MOORE [54]) sont assez concordants. La teneur du lait écrémé en vitamine A serait de l'ordre de 30 U. I. par litre.

Les résultats obtenus par CHEVALLIER et MANUEL [42] diffèrent notablement de ces chiffres. D'après ces auteurs, le lait écrémé contiendrait encore une quantité importante de la vitamine A du lait entier. Le lait centrifugé contient environ 5 à 10 γ de vitamine A par litre (WILLSTEADT et WITH [36].)

Quoi qu'il en soit, il apparaît, d'après les travaux cités, que le lait écrémé contient une petite quantité de vitamine A, sans que l'on puisse en conclure cependant que cette vitamine est liée aux

protides, car le lait écrémé par les procédés de l'industrie contient encore environ 1 pour 1.000 de matières grasses.

Il nous a paru intéressant de reprendre cette question. Nous avons d'abord dosé le carotène et la vitamine A du lait écrémé à l'écrémeuse industrielle Alfa-Laval. La teneur en lipides (dosée à l'aide de la méthode Röse-Gottlieb) était de 1 gr. 2-1 gr. 5 par litre. Ces chiffres sont bien recoupés par les résultats de Machebœuf et Tayeau : 1 gr. 1 de lipides inextractibles à l'éther. La méthode Gerber donne des résultats notablement plus faibles.

Technique opératoire.

Dans un Erlenmeyer de 500 cm³ mettre :

200 cm³ de lait écrémé ;
5 grammes de potasse dans 5 grammes d'eau ;
200 cm³ d'alcool.

Chauffer 2 heures à reflux, au bain-marie bouillant.

Après refroidissement, extraire par 2 fois 100 et 1 fois 50 cm³ d'éther de pétrole. Continuer comme il a été indiqué page 43.

Le tableau III mentionne les résultats obtenus.

La teneur du lait écrémé en facteur A est donc faible, mais non négligeable.

Remarquons dès maintenant que l'ampleur des variations saisonnières des teneurs en facteur A du lait écrémé est moins accusée

TABLEAU III

TENEUR DU LAIT ÉCRÉMÉ EN CAROTÈNE ET VITAMINE A

	Vitamine A		Carotène
	U. I p./l.	γ litre	γ/l.
Janvier	20	7	—
20 juin	42	15	58
7 sep embre	57	20	34
15 septembre	52	18	45
15 septembre	55	19	45
23 septembre	50	17,5	47,5
23 octobre	52,5	18	55
9 novembre	35	12	68
Novembre	47,5	16	50
30 décembre	35	12	35

que celle du lait entier. L'échantillon d'un lait écrémé de fin décembre provenant d'une vache souffrant d'une carence à peu près

totale de carotène contient presque autant de carotène et de vitamine A que le lait écrémé provenant de vaches recevant des quantités importantes de carotène.

TABLEAU IV

	Lait entier		Lait écrémé	
	Carotène γ litre	Vitamine A U. I./litre	Carotène γ/litre	Vitamine A U. I./litre
Eté	350	750	58	57
Hiver	50	150	34	20
Rapport	7	5	1,7	2,85

Ainsi, l'ampleur des variations des teneurs du lait entier en carotène est environ quatre fois plus grande que celle du lait écrémé.

Pour la vitamine A, elle est à peine deux fois plus grande.

Il semble donc que la teneur du lait écrémé en facteur A et surtout en carotène est assez indépendante de la saison.

B. *Carotène et vitamine A par gramme de lipides.*

Si nous calculons la teneur en carotène et en vitamine A par gramme de lipides dans le produit entier, et dans le produit écrémé, nous trouvons des différences caractéristiques : les chiffres du tableau V montre que les lipides du lait écrémé retiennent par gramme davantage de vitamine A et surtout davantage de carotène que les lipides du lait entier.

TABLEAU V

CAROTÈNE ET VITAMINE A PAR GRAMME DE LIPIDES DU LAIT ENTIER ET DU LAIT ÉCRÉMÉ

	Lipides Grammes/l.	Carotène γ/litre	Vitamine A U. I./litre	Carotène γ/gr. lipides	Vitamine A U. I./grammes-lipides
Entier (été)	40	350	750	8,75	18,75
Ecrémé (été)	1,5	45	50	30	33,30
Entier (hiver)	40	50	150	1,25	3,75
Ecrémé (hiver)	1,5	20	34	13,3	22,6
Colostrum.					
Entier (été)	37,5	918	1.620	24,5	43
Ecrémé (été)	1,2	327	80	270	67

Ainsi, 1 gramme de lipides du lait écrémé peut contenir dix fois plus de carotène et six fois plus de vitamine A que 1 gramme de lipides du lait entier. La différence est moins accentuée l'été.

Les lipides du colostrum écrémé d'été contiennent par gramme dix fois plus de carotène que ceux du produit entier. Comment expliquer cette différence ?

Il est peu probable que la solubilité du carotène dépende de la qualité des lipides émulsionnés, qui serait différente dans le produit entier et dans le produit écrémé. Il reste alors deux hypothèses. La première consiste à dire qu'il reste dans le produit écrémé les plus fins globules de lipides. Pour un même poids de lipides, la surface des globules de matières grasses du produit écrémé est donc supérieure à celle des globules du produit entier. Il faudrait alors supposer une fixation superficielle du carotène et de la vitamine A par les globules pour expliquer la haute teneur en facteur A des lipides du produit écrémé.

La seconde hypothèse est basée sur l'existence de complexes lipides protides-facteurs A.

Les résultats ci-dessous montrent que cette hypothèse doit être prise en considération.

C. *Etat du carotène et de la vitamine A dans le lait écrémé.*

On a remarqué, depuis longtemps, qu'il est très difficile de délipider totalement la caséine. De même, l'obtention de caséine exempte de facteur A nécessite un traitement par l'alcool bouillant, puis par l'éther. Ce fait a été mis en évidence par l'emploi de la caséine dans les régimes de carence.

Nous nous sommes alors demandés si les lipides et les facteurs A étaient unis de façon quelconque aux protides du lait, ce terme « unis » ne préjugeant en rien de la nature de la liaison éventuelle. Machebœuf et Tayeau [23] ont montré que des cénapses lipoprotéiques existent dans le lait.

Pour vérifier si le facteur A participe à ces complexes, nous avons étudié l'extraction des lipides, du carotène et de la vitamine A du lait écrémé par le mélange alcool-éther, selon la technique appliquée par Machebœuf et Sandor au sérum sanguin.

D. *Extraction des lipides, du carotène et de la vitamine A du lait écrémé.*

L'extraction totale de la matière grasse du lait par l'éther n'est pas possible, et c'est ce qui a fait supposer que les globules de matière grasse étaient entourés d'une membrane protéique.

Le mélange alcool-éther extrait des quantités variables de lipides suivant la concentration alcoolique du mélange.

Technique opératoire.

Dans une série d'entonnoirs à décantation, mettre :

200 cm³ de lait écrémé ;

200 cm³ d'éther exempt de peroxyde, additionné de 40, 80, 120, 160, 180, 200, 240, 300 cm³ d'alcool à 96°, ce qui correspond à 20, 40, 60, 80, 90, 100, 120, 150 % du volume du lait (convention adoptée par SANDOR pour le sérum sanguin).

Le mélange est agité par retournement pour éviter la formation d'émulsion, et abandonné à l'obscurité. Après 48 heures, décanter, laver l'extrait deux fois à l'eau. Le dosage des lipides est effectué en évaporant au bain-marie, en capsule tarée, la dixième partie du volume de l'extrait. Les 9/10e restants sont évaporés au bain-marie (réfrigérant descendant).

Dès que l'éther a été évaporé, ajouter 25 cm³ d'alcool additionnés de 25 cm³ d'eau et 2 grammes de potasse dans 5 grammes d'eau. Saponifier demi-heure à reflux au bain-marie bouillant. Extraire par deux fois 50 cm³ d'éther de pétrole. Laver l'extrait trois fois avec 100 cm³ d'eau. Sécher sur sulfate de sodium, filtrer, évaporer, reprendre par 5 cm³ de chloroforme. Le dosage est effectué sur 0 cm³ 5 d'extrait. Les résultats, multipliés par 10/9 donnent la teneur en carotène et en vitamine A de l'extrait éthéré total.

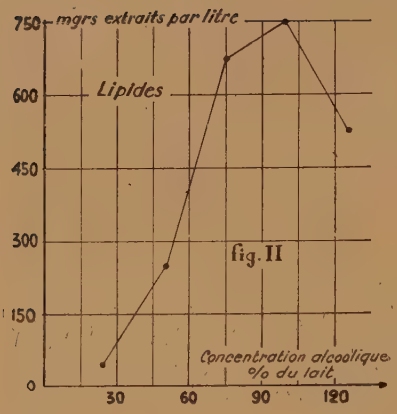
Résultats. — Les résultats sont consignés dans le tableau VI.

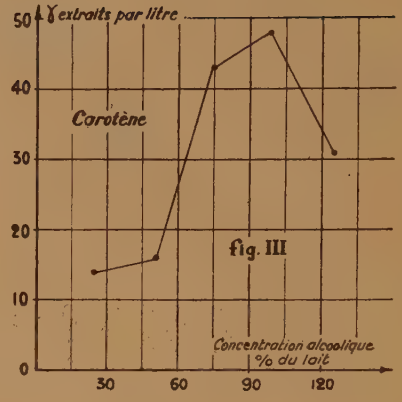
TABLEAU VI

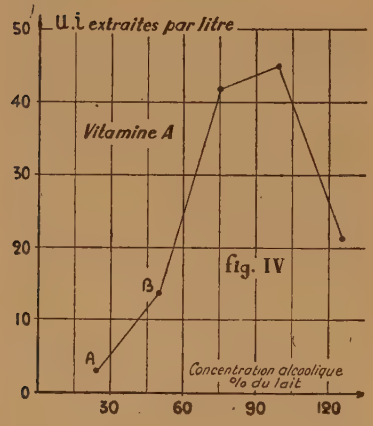
Alcools % du lait	Lipides extraits Mgrs litre	Lipides extraits %	Carotène extrait γ/litre	Carotène extrait %	Vitamine A extraite U.I./litre	Vitamine A γ/litre	Vitamine A extraite %
25	50	5,5	14	27,8	3,5	1,2	8,2
50	250	27,8	16	32,2	14	4,9	6,5
75	675	75	43	85,6	42	14,7	87,4
100	750	83,3	48	95,6	45	16,1	93,1
125	525	58,3	31	62,2	21,5	7,5	45,5
Témoin lait écrémé	900	—	50	—	52,5	18,4	—

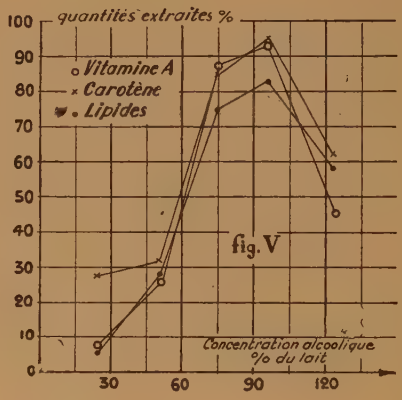
Les courbes II, III, IV, V traduisent ces résultats.

Il existe un optimum de concentration alcoolique pour laquelle les quantités maxima sont extraites. De part et d'autre de cet









optimum, la chute est brusque. Une petite partie des lipides ne peut être extraite.

Ces caractéristiques de la courbe sont analogues à celles obtenues dans l'étude de l'extraction des lipides du sérum sanguin par le mélange alcool-éther (Machebœuf et Sandor). Dans ce cas, elles indiquent l'existence des lipides à l'état caché sous forme de cénapses lipo-protéiques. Machebœuf et Tayeau ont montré que de telles cénapses existent dans le lait, et que le cholestérol et la lécithine y participent particulièrement. Nous ajouterons que le carotène y participe également.

La mise en évidence de la vitamine A dans ces courbes n'est pas toujours possible (voir remarque page 52). D'ailleurs, la différence entre les teneurs des lipides du produit écrémé et du produit entier en facteurs A est surtout sensible en ce qui concerne le carotène.

Quoi qu'il en soit, le carotène et la vitamine A ne sont pas unis directement aux protides du lait écrémé. A côté d'une petite fraction qui demeure émulsionnée, ils participent à des cénapses dont lipides et protides sont les constituants principaux.

Aspect des protides en fonction de la concentration alcoolique.

L'alcool est un précipitant des protides, colloïdes hydrophiles du lait. Son action résiderait en une déshydratation de ces protides. Pour les concentrations alcooliques où l'extraction est faible, les protides (caséine en particulier) sont peu coagulés. L'extraction brusque des lipides des facteurs A coïncide avec la floculation totale de la caséine.

E. *A quelle fraction protéidique du lait sont unis les lipides.*

Il semble que ce soit à la fraction protéines solubles (albumine + globuline) que sont unis les lipides.

Nous avons en effet préparé du lacto-sérum et du colostro-sérum par filtration sur bougie de Chamberland du lait et du colostrum écrémés. Malgré toutes les réserves qu'imposent cette méthode, les résultats montrent que le colostro-sérum retient davantage de lipides que le lacto-sérum (ceci à égalité de teneurs en lipides du lait et du colostrum écrémé).

TABLEAU VII

GRAMMES DE LIPIDES PAR LITRE

Lait écrémé	Lacto-sérum	Lipides % filtrés	Colostrum écrémé	Colostro-sérum	Lipides % filtrés
1,5	0,410	27,3	1,2	0,890	74,1

Or, le colostrum est riche en protéines « solubles » et, particulièrement, en globuline. On peut donc penser que les lipides filtrables à la bougie sont unis aux protéines solubles et plus spécialement à la globuline. (Le lacto-sérum et le colostro-sérum ne contiennent plus de globules visibles au microscope.) Il n'était pas possible d'effectuer les dosages de carotène et de vitamine A, probablement en raison de la destruction du facteur A par filtration sur bougie.

F. *Aspect des protéides en fonction de la concentration alcoolique.*

L'extraction optimum se fait lorsque les protides sont coagulés, alors que dans le cas du sérum sanguin, cette coagulation n'a pas lieu. La caséine est dénaturée lorsque commence l'extraction des

lipides et des facteurs A. On ne peut évidemment se rendre compte de l'aspect de l'albumine et de la globuline du lait.

Quoi qu'il en soit, il semble que le carotène et la vitamine A sont solidement fixés aux complexes du lait écrémé. Jusqu'à une concentration de 75 % d'alcool, la décantation de l'extrait éthéré est aisée, la couche éthérée surmonte le lait non coagulé. Pour 100, 125 % il n'y a plus de couche éthérée distincte : il faut séparer le coagulum par filtration et le laver. On ajoute alors 200 cm^3 d'éther au filtrat pour extraire les lipides, le carotène et la vitamine A.

Remarque. — Le dosage de la vitamine A dans le lait écrémé n'est pas toujours possible : il se produit quelquefois immédiatement une réaction de Carr et Price anormale : il se développe une coloration rose brune.

Cette coloration survient après la disparition de la coloration bleue, dans les réactions normales. Elle est vraisemblablement due à des produits de destruction de la vitamine A.

La même coloration se produit dans tous les cas lorsqu'on veut effectuer la réaction de Carr et Price sur les insaponifiables de sérum de fromagerie.

Notons que ces produits contiennent environ 30 γ de carotène par litre. C'est, en moyenne, la teneur du lait écrémé. Il ne semble pas que la caséine ait entraîné le carotène — ce qui confirme que ce pigment est bien lié aux « protéines solubles » du lait (albumine et globuline).

Cette coloration anormale est enfin très nette avec certains insaponifiables de produits vitaminés A pour l'alimentation du bétail, où la vitamine A est apportée sous forme d'huile de foie de poisson que l'on mélange à des farines pulvérulentes.

G. *Quantité de lipides, de carotène et de vitamine A liés.*

La partie AB des courbes correspondrait à l'extraction des lipides émulsionnés et du carotène et de la vitamine A dissous dans ces lipides. La différence entre l'ordonnée maximum et l'ordonnée de B représenterait la quantité participant au complexe. Pour les lipides, elle serait de : 500 milligrammes, pour le carotène de 30 γ, pour la vitamine A de 30 U. I. (soit 10 γ).

Or, Willsteadt et With ont trouvé que le lait centrifugé contient précisément 10γ de vitamine A par litre.

CHAPITRE III

CONSERVATION DE LA VITAMINE A DANS LE LAIT

La conservation de la vitamine A dans le lait est un problème d'importance pratique. Le lait livré à la consommation conserve-t-il son pouvoir vitaminique ? Le lactose du lait subit, en effet, rapidement la fermentation lactique. Or, on sait que la vitamine A est relativement moins stable en milieu acide qu'en milieu alcalin.

Dans les expériences que nous avons effectuées au cours de ce travail, les échantillons étaient transportés de la ferme, située dans la région parisienne, au laboratoire. Il était important de connaître quelle destruction subissait la vitamine A au cours de la conservation du lait.

Nous avons étudié la teneur en carotène et en vitamine A des différents échantillons de lait conservé dans diverses conditions :

1. Conservation à l'obscurité, glacière 2°, sous azote.
2. Conservation à l'obscurité, glacière 2°, sous air.
3. Conservation à l'obscurité, à 20°, sous air.
4. Conservation à la lumière, à 20°, sous azote.
5. Conservation à la lumière, à 20°, sous air.

Les échantillons étaient conservés dans des fioles-poires de 500 cm^3 en verre ordinaire.

Les courbes de la fig. VI représentent la variation des quantités de carotène et de vitamine A, en % de la teneur initiale.

On constate que le meilleur mode de conservation de la vitamine A est celui qui consiste à maintenir le lait à l'obscurité, à basse température, sous azote. Après 50 jours de conservation dans ces conditions, il reste environ 78 % du carotène et 76 % de la vitamine A.

La destruction de la vitamine A ne commence qu'après 15 jours de conservation. A l'obscurité, le carotène se conserve bien à 20° sous air.

Nous avons voulu étudier la part qui revient à la température, à l'éclairement et à l'aération dans la conservation de la vitamine A.

1. La conservation sous air à 2°, à l'obscurité (courbe 2) provoque une perte plus rapide en vitamine A et en carotène que la conservation sous azote (courbe 1).

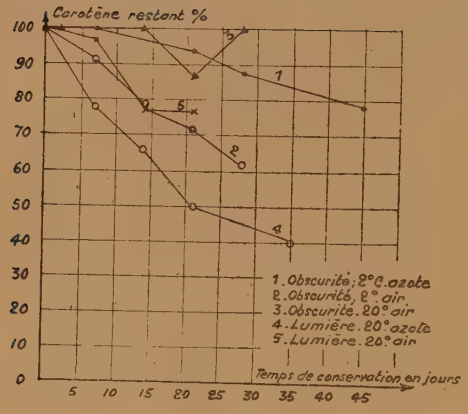


FIG. VI *a*

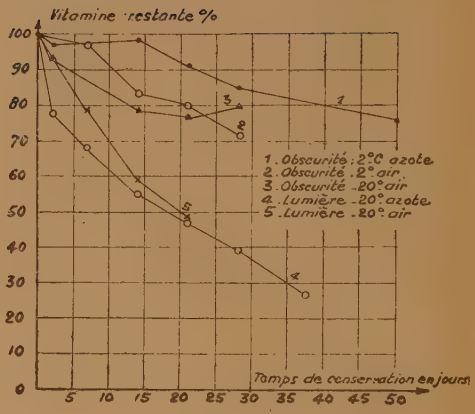


FIG. VI *b*

2. La comparaison des courbes 2 et 3 indique qu'une élévation de température de 2 à 20° n'accélère presque pas la destruction de la vitamine A du lait ; le carotène semble ne pas être détruit à 20° (les autres conditions étant : obscurité, air).

Il y a cependant acidification et caillage des échantillons conservés à 20°.

3. La comparaison des courbes 3 d'une part, 4 et 5 d'autre part, montre le rôle primordial joué par la lumière dans la destruction de la vitamine A du lait.

Dans l'échantillon 3, conservé à l'obscurité, le carotène est tombé, en 21 jours, à 87 % de sa teneur initiale, la vitamine A à 77 % de sa teneur initiale, alors que dans l'échantillon 4, conservé à la lumière, le carotène est tombé à 50 %, la vitamine A à 47 % seulement de sa teneur initiale.

Dans l'échantillon 5, conservé dans les mêmes conditions de température (20°) que 3 et 4, mais sous azote, la teneur en carotène atteint 77 % de la teneur initiale et 47 % de la teneur initiale pour la vitamine A.

Ainsi, la vitamine A et le carotène contenus dans un milieu opaque, comme le lait, sont encore sensibles à l'action de la lumière.

La comparaison des courbes de la fig. 6 montre l'influence de la conservation sous azote (20° à la lumière).

Les résultats sont sensiblement identiques dans les 2 cas quant à la vitamine A. La destruction est toutefois plus rapide lorsque le lait est conservé sous azote. Le carotène semble également détruit plus vite lorsque le lait est conservé sous azote.

Comment expliquer cette destruction ? Il est possible que la fermentation lactique, plus active en anaérobiose, cause la destruction de la vitamine A. A 2°, la fermentation lactique est entravée et c'est le contact de l'air qui oxyderait la vitamine A. On conçoit alors que l'atmosphère d'azote à cette température de 2° retarde la destruction de la vitamine A. Les produits de destruction de la vitamine A ne sont peut-être pas les mêmes si l'on conserve le lait sous azote et sous air.

Nous avons tenté de supprimer l'acidification et le « caillage» du lait par addition de diverses substances.

a) *Bicarbonate de sodium.*

Le bicarbonate de sodium n'empêche pas la fermentation lactique mais neutralise l'acide lactique au fur et à mesure de sa production.

Les courbes 6 et 5 de la fig. VII montrent la destruction comparée de la vitamine A dans le lait conservé respectivement avec et sans bicarbonate. On voit que l'addition de bicarbonate de sodium, loin d'empêcher la destruction de la vitamine A, l'accélère au contraire.

Il se développe une fermentation putride plus néfaste à la vitamine A et au carotène que l'acidification.

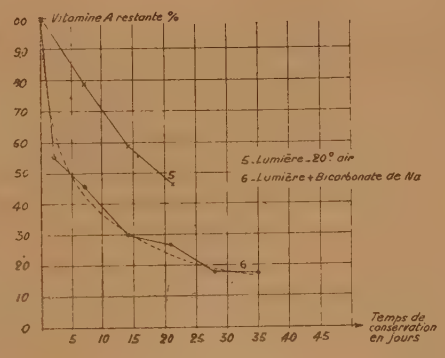


FIG. VII

La courbe qui traduit la destruction (fig. VII) présente une allure remarquablement régulière, comme celle d'une réaction régie par la loi d'action de masses. La teneur finale en vitamine A est de l'ordre de celle du lait écrémé et semble s'y stabiliser.

b) *Addition de trioxyméthylène.*

Le trioxyméthylène est un antiseptique qui empêche toute fermentation. Le lait se conserve indéfiniment sans s'acidifier. En ce qui concerne la conservation de la vitamine A, le trioxyméthylène donne des résultats assez surprenants.

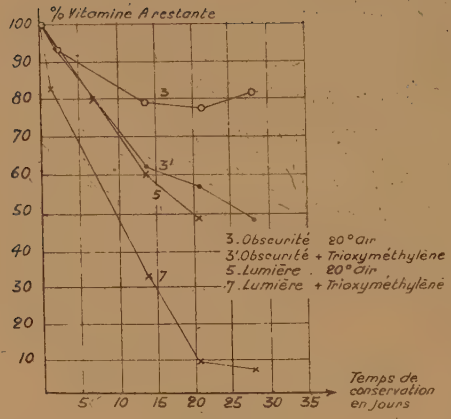


FIG. VIII

La comparaison des courbes 3 et 3', 5 et 7 de la fig. VIII montre que le trioxyméthylène ne favorise pas la conservation de la vitamine A dans le lait ; au contraire, il accélère la destruction. La destruction est particulièrement rapide dans l'échantillon conservé à la lumière.

Au bout de 28 jours, il reste dix fois moins de vitamine A dans l'échantillon conservé à la lumière que dans celui conservé à l'obscurité.

Ainsi, au danger que présente la consommation de lait conservé à l'aide de bicarbonate de sodium ou de trioxyméthylène, s'ajoute l'inconvénient grave de la destruction rapide de la vitamine A. On ne saurait trop souligner le caractère nocif des laits conservés au trioxyméthylène ou au formol. On sait que la formaldéhyde dénature les protides en bloquant leurs fonctions amines. Le tube digestif risque d'être ainsi gravement lésé.

En résumé, les meilleures conditions de conservation du carotène et de la vitamine A dans le lait sont : 1° maintenir l'échantillon à l'obscurité (condition la plus importante) à basse température, sous azote, cette dernière condition étant à respecter uniquement lorsque le lait est conservé à basse température ; 2° la conservation sous azote ne s'impose pas à la température ordinaire.

Dans les conditions industrielles pratiques, le lait mis en chambre froide et transporté en bidons opaques, dès sa production, ne perd pratiquement pas son activité vitaminique A.

TABLEAU VIII

Temps de conservation en jours	Carotène γ/litres	Vitamine A γ/litres	Carotène % restant	Vitamine A % restant	Carotène γ/litres	Vitamine A γ/litres	Carotène % restant	Vitamine A % restant
	Obscurité — 2° — azote				Obscurité — 2° — air			
—	160	115	100	100	160	115	100	100
2	180	112	—	97	—	—	—	—
7	160	117	100	—	145	112	91	97
14	125	114	—	98,5	125	96	78	83,5
21	150	105	94	91	115	93	72	80
28	140	98	87,5	85	100	87,5	62	71,5
35	—	—	—	—	—	—	—	—
50	125	87,5	78	76	—	—	—	—
	Obscurité — 20° — air				Lumière — 20° — azote			
—	120	122	100	100	160	115	100	100
2	120	115	100	94	170	89	—	77
7	—	—	—	—	125	78,5	78	68
14	120	96	100	79	105	63	66	55
21	105	94	87	77	80	54	50	47
28	120	99,5	100	81	—	45,5	—	39,5
35	—	—	—	—	65	24,5	40,5	27
50	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lumière — 20° — air				Lumière — 20° — air + CO^3NaH			
—	160	115	100	100	160	115	100	100
2	—	—	—	—	155	63	97	55
7	155	91	97	79	145	52,5	91,5	45,5
14	115	68	77	59	105	35	62,5	30
21	115	54	77	47	100	31,5	62,5	27
28	—	29	—	—	95	21	59	18
35	—	—	—	—	55	21	34,5	18
	Obscurité — 20° — air Trioxyméthylène				Lumière — 20° — air Trioxyméthylène			
—	120	122	100	100	120	122	100	100
2	120	115	100	95	120	99,5	100	81
7	—	—	—	—	—	—	—	—
14	110	75	92	61	75	38,5	62,5	31,5
21	—	68	—	56	80	10	66,5	8,6
28	80	57,5	67	47	37	6,3	31	5,2

CHAPITRE IV

ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE

I. INTRODUCTION

Pour étudier la physiologie de la vitamine A dans la glande mammaire, il eut été très instructif d'étudier d'une part le sang artériel et le sang veineux irrigant la glande mammaire, et d'autre part le lait, quant à leurs teneurs en carotène et en vitamine A.

Un bilan du carotène et de la vitamine A dans chacun de ces trois milieux nous aurait permis d'étudier le sort de ces corps dans la glande mammaire.

On sait malheureusement peu de choses sur le rôle que peut jouer à cet égard le système lymphatique. Il doit être cependant d'une grande importance, puisque le lait emprunte au sang ses éléments constitutifs par l'intermédiaire de la lymphe tissulaire. L'étude du sang veineux et artériel n'a cependant pas été possible.

En dehors des difficultés pratiques, cette étude est impossible en raison même de l'approximation insuffisante donnée par le dosage de la vitamine A. En effet, il est admis qu'un litre de lait est formé à partir de 400 litres de sang. L'appauvrissement du sang à son passage dans la mamelle sera de 1/400^{e} pour chacune des substances qui sont des précurseurs des constituants du lait. La précision du dosage de la vitamine A est bien inférieure à cette limite, et cette étude n'aurait eu aucune signification.

Il faudrait que l'appauvrissement soit de l'ordre de 10% pour que des conclusions puissent être tirées.

Mais il existe un produit de l'activité de la glande mammaire qui présente des caractères qui le rapprochent à la fois du sang et du lait : le colostrum. C'est une sécrétion lactée subnormale qui met en relief, en les exagérant, certains phénomènes du passage de la vitamine A du sang au lait.

1. Le sang

A. — L'alimentation végétale fournit à l'homme et aux animaux des quantités importantes de carotène, qui subit une destruction partielle dans le tube digestif. Il passe ensuite dans l'intestin où il subit une absorption partielle. Avec les acides biliaires, et en particulier avec l'acide désoxycholique, le carotène forme un complexe

soluble dans l'eau et capable de traverser la paroi intestinale (Greaves et Schmidt, Euler et Klussmann). Il passe alors dans le système circulatoire.

Là encore, on ne sait rien sur le rôle de la lymphe dans le transit de carotène. Une telle étude est évidemment très malaisée.

Le carotène existe donc dans le sang sous forme hydrosoluble.

Les lipides subissent un sort parallèle sous l'action des acides biliaires. On sait que, dans le sang, la majeure partie des lipides existe sous forme hydrosoluble, à l'état de cénapses lipo-protéiques. (Machebœuf [55], Sandor [51]). Le sérum est un milieu limpide, dans lequel on ne peut distinguer de globules graisseux.

D'autre part, il a été montré par Palmer [49] et Van Den Bergh [50] que le carotène du sérum sanguin est lié aux protides du sérum. Palmer a pu isoler une caroto-albumine hydrosoluble. Le cholestérol et la lécithine sont présents dans le complexe et, selon Palmer, en assurent la stabilité. Remarquons que le cholestérol et lécithine existent dans les complexes lipo-protéiques et que Sandor pense que leur stabilité, plus grande en été, est due au carotène.

On est ainsi amené à constater l'extrême complexité de l'étude du carotène dans le milieu sanguin : ce pigment existe sous forme hydrosoluble, étant lié vraisemblablement au sel de sodium de l'acide désoxycholique, aux lipides et aux protides,

Il est intéressant de noter que ni le sérum ni la graisse de porc ne contiennent de carotène. Il y en a peu dans le lait et le sérum de chèvre et de brebis.

Le carotène mis en circulation dans le sérum sera transformé en vitamine A. Les recherches de Moore ont montré que cette transformation s'effectue vraisemblablement dans le foie. Le récent travail de Vinet et Collaborateurs [56] semble confirmer ce point de vue. Ce qui est sûr, c'est que la vitamine A est mise en réserve dans le foie. D'après Chevallier [57], la vitamine A existerait dans le foie sous la forme ester, alors qu'elle circulerait dans le sang sous la forme alcool. Selon Guilbert et Hart [58], les réserves de vitamine A de la vache en croissance seraient comprises entre 1 et 5 grammes.

Les cellules de Kupfer joueraient un rôle actif dans la fixation du carotène sanguin.

La teneur du sang en vitamine A serait fonction de la réserve hépatique (Van Eckelen et Wolff). MacCord et Clausen semblent indiquer une dissociation nette entre ces deux valeurs. L'état infectieux peut également faire cesser cette relation (Lindqvist [59]). Le travail de Varangot [60], sur l'homme, indique qu'une déficience dans la teneur du sang en vitamine A est

bien un témoin de carence, les chiffres indiquant une relation entre cette quantité et la réserve hépatique. Ces résultats ont toutefois une valeur statistique. Il peut y avoir, d'un jour à l'autre, de grandes variations dans le taux sanguin de vitamine A.

B. — *Relation entre la teneur du sang et celle du lait en vitamine A* :

Moore [61] a observé que la teneur du sang en carotène augmente très rapidement après la mise à l'herbe. Quelques heures après le changement d'alimentation, l'augmentation est déjà significative. Cet auteur trouve des teneurs différentes selon la race des animaux. Les teneurs croissent quand on passe des Brunes des Alpes aux Holstein, puis aux Ayrshires, puis aux Jersey et aux Guernesey.

Peterson et Collaborateurs [62] ont pu constater qu'il y avait un certain parallélisme entre la teneur du sérum en carotène et la teneur du beurre en carotène et en vitamine A. Cependant, Semb, Baumann et Steenbock [63] trouvent que les hautes teneurs en carotène du colostrum sont indépendantes d'une augmentation du taux de caroténoïdes du sérum. Nylund, puis Chevallier et Collaborateurs [64], chez la femme, ont remarqué que la teneur du sang en vitamine A est généralement supérieure à celle du lait ; chez la chienne, ces derniers auteurs ont trouvé que le lait avait une concentration en vitamine A supérieure à celle du sang. La concentration du carotène dans le sérum sanguin est d'ailleurs sujet à de grandes variations individuelles. Lelesz [78] a trouvé dans le sérum de vache des valeurs s'étageant de 51 à 268 U. I. pour 100 cm^3 de sérum. Les résultats de Davis et Madsen [65] montrent que la teneur du sang en vitamine A dépend étroitement de la quantité de carotène apportée par la ration actuelle, et aussi des réserves emmagasinées par l'animal. La teneur en vitamine A du plasma est étroitement liée à la teneur en carotène. Cependant, la teneur en vitamine A n'augmente pas proportionnellement aux quantités de carotène distribuées aux animaux.

2. Travail personnel

Au cours d'une période de deux semaines (15-30 décembre), nous avons étudié parallèlement les teneurs du sang et du lait de vaches en vitamine A.

Les animaux étaient divisés en trois lots recevant chacun une quantité différente de foin (*). Chacun de ces lots était lui-même divisé en deux groupes, dont l'un recevait de la vitamine A, l'autre n'en recevait pas.

(*) Le foin contenait 14 mg. de carotène par kilogramme.

Le tableau ci-dessous résume les résultats.

On voit que l'ingestion d'une quantité de 6 kg. de foin n'a pas augmenté la teneur du sérum sanguin en carotène et en vitamine A. Cette teneur est la même — la différence étant de l'ordre de l'erreur expérimentale — que la teneur du sérum de vaches ne recevant pas de foin.

Nous verrons plus loin que la teneur du lait en carotène et en vitamine n'est pas sensiblement augmentée par l'absorption de 6 kg. de foin.

TABLEAU IX

Nom	Groupe	Sang				Lait			
		Date	Carotène/lit.	Vit. A/lit.	Vit./Carotène	Date	Carotène/lit.	Vit. A/lit.	Vit./Carotène
		Lot T. 6 kilogrammes de foin							
Bobine	Ts	30/12	720	90	0,125	23/12	125	90	0,72
Agrippine	Ts	»	350	100	0,285	»	155	180	1,16
Aspirine	Ta	»	810	110	0,135	»	100	80	0 80
Delphine	Ta	»	570	170	0,300				
Ondine	Ta	»	740	280	0,38	»	70	100	1,43
Moyennes			*638*	*150*			*87,5*	*117,5*	
		Lot F. 2 kilogrammes de foin							
Bichette	Fs	16/12	1.190	240	0,200	16/12	80	90	1,12
Paulette	Fs	»	1.500	390	0,260		80	100	1,24
Badette	Fs	»	1.870	400	0,215		92,5	95	1,03
Mariette	Fa	»	910	240	0,265		80	90	1,12
Ponette	Fa	»	1.330	140	0,105		115	92,5	0,81
Finette	Fa	»	775	130	0,168		265	92,5	0,35
Moyenne			*930*	*227*			*126*	*95*	
		Lot B. Pas de foin							
Arnica	Bs	30/12	640	150	0,235		—	—	—
Flora	Ba	»	700	150	0,215		—	—	—
Polka	Ba	»	750	170	0,225				
Blanca	Ba	»	410	95	0,230		—	—	—
Moyenne			*625*	*141*					

L'indice a indique que les animaux recevaient de la vitamine A.
L'indice s indique que les animaux n'en recevaient pas.

Le sérum des vaches du lot F, ne recevant cependant que 2 kg. de foin, présente des teneurs en carotène et en vitamine A plus

élevées que celui des vaches des autres lots. Nous pensons qu'il faut en voir la raison dans le fait que les sangs et les laits des vaches de ce lot ont été prélevés deux semaines plus tôt que les autres : les animaux, pendant ces deux semaines, se sont déchargés de leurs réserves vitaminiques.

Les variations individuelles dans les teneurs du sang en facteurs A sont assez considérables. Les résultats montrent que les teneurs en carotène et en vitamine A sont parallèles dans le sérum. Les vaches du lot F présentent en effet des teneurs plus élevées à la fois en carotène et en vitamine A. Cependant, le lait produit par ces vaches n'est pas plus riche en vitamine A que celui produit par les vaches du lot T (6 kg. de foin).

La teneur moyenne en carotène est légèrement augmentée, mais il y a cependant des variations individuelles dans le sens inverse.

Remarquons que les valeurs du rapport vitamine A/carotène sont d'autant plus dispersées que les vaches reçoivent plus de carotène. Il est remarquablement constant chez les vaches du lot B ne recevant pas de foin. Ce fait est dû à l'assimilation différente du carotène par chaque individu.

Le rapport vitamineA/carotène est plus grand dans le lait que dans le sang. L'épithélium mammaire laisserait passer plus facilement la vitamine A que le carotène, ou bien il faudrait envisager une transformation du carotène en vitamine A dans la mamelle.

Pour des animaux soumis à une même alimentation ou à une alimentation dont la teneur en carotène reste inférieure à un certain seuil, la teneur du sang en facteurs A n'a pas d'influence sur celle du lait. Cependant, lorsque les vaches sont au pâturage, la teneur du sang en facteurs A est très augmentée, ainsi que celle du lait ou du colostrum.

Par exemple, nous avons effectué des prélèvements simultanés de sang et de colostrum sur des vaches soumises à une alimentation différente. Les prises étaient effectuées 3 ou 4 heures après vêlage.

La vache I recevait 7 kg. de foin, la vache II était au pâturage.

	Colostrum		Sang (Plasma)	
	Carotène γ/litre	Vitamine A γ/litres	Carotène γ/litres	Vitamine A γ/litres
I	730	1.370	330	146
II	2.440	1.900	2.380	610

L'augmentation du taux de carotène est plus grande que celle qui concerne la vitamine A.

Il semble — et d'autres faits viendront appuyer cette hypothèse — que le carotène ne puisse être mis en réserve par l'organisme.

Le tableau IX montre que les teneurs respectives en vitamine A du sang sont en général plus grandes que celles du lait.

La concentration du colostrum en vitamine A est très différente de celle du lait. Les taux de carotène dans chacun de ces deux milieux sont plus voisins.

Il semble que pendant la période colostrale, l'organisme ait un pouvoir accru de transformer ce carotène en vitamine A. En effet, la concentration de la vitamine A dans le colostrum est bien supérieure à celle du sang.

Si le colostrum était un lait de rétention, la disparition de la vitamine A ne serait-elle pas plus rapide que celle du carotène ?

II. LE COLOSTRUM

1. Il y a lieu de distinguer le colostrum ante-partum et le colostrum post-partum. Nous étudierons ici uniquement ce dernier.

C'est la sécrétion de la glande mammaire qui apparaît immédiatement après la parturition et dont la composition tend vers celle du lait. Sa composition chimique en est très différente et varie rapidement après le part.

L'amplitude des variations est très importante pour certains constituants, en particulier pour les protides, et plus spécialement pour la globuline, pour le carotène et pour la vitamine A.

Sans entrer dans les détails, voici les caractéristiques principales du colostrum, d'après Engel et Schlag [66] : 1° la composition des colostra, leurs teneurs en éléments, sont spécifiquement différentes chez les vaches prises individuellement ; 2° l'acidité diminue et devient normale après 6-12 jours ; 3° l'essai de cuisson n'est plus positif lorsque l'acidité est de 10°, sans pour cela que la composition chimique soit devenue normale ; 4° le poids spécifique après la mise-bas est de 1.060 à 1.080 ; 5° la réfraction du sérum est faible ; 6° la teneur en lactose augmente ; 7° la teneur en chlorures diminue ; 8° l'abaissement du point de congélation est très irrégulier ; 9° la teneur en matières protéiques solubles est très élevée ; 10° la teneur en matière sèche est très élevée : 25,1 à 33,6 % ; 11° la teneur en matière grasse oscille, mais est plus élevée que dans le lait. Elle est plus faible quand on la rapporte à l'extrait sec ; 12° la teneur en cendres est plus élevée que dans le lait, mais moindre si on la rapporte à l'extrait sec ; 13° la teneur en chaux et en magnésie varie beaucoup ; 14° la période colostrale dure environ 12 jours (les protéines sont devenues normales).

Les teneurs en amino-acides, iode, cuivre, fer, arsenic, hormones et diastases sont également plus grandes que dans le lait (voir Houdinière [67]).

Il en est de même pour les vitamines B1, C, D, et surtout pour la vitamine A et le carotène. Plusieurs auteurs ont signalé que le colostrum est plus riche en vitamine A que le lait normal. Dann [37], Semb, Baumann et Steenbock [63], Guilbert et Hart [58], Leuschen, Kunerth, Kramer, Riddel [68]. Dann signale que le colostrum peut être de 10 à 100 fois plus riche en vitamine A que le lait normal. La chute est très rapide les premiers jours et redevient normale du cinquième au dixième jour. Stewart et MacCallum [69], étudiant les colostra de 100 vaches en stabulation, trouvent des valeurs s'étageant entre 35 et 1.181 unités internationales pour 100 cm^3.

Nous avons étudié un certain nombre de colostra en ce qui concerne leur teneur en carotène et en vitamine A, et les influences qui peuvent modifier ces teneurs : alimentation, âge de l'animal, etc.

3. Travail expérimental

A. *Allure générale du phénomène.*

Nous avons d'abord étudié la teneur en carotène et en vitamine A de colostra de vaches placées dans différentes conditions.

Dans une première expérience, nous avons étudié les variations des teneurs en lipides, protides, carotène et vitamine A.

L'animal était une vache hollandaise, âgée de 3 ans, primipare, vêlée le 3 mars 1943.

L'alimentation quotidienne moyenne était la suivante : pulpe ensilée, 80-90 kg., foin de trèfle, 7 kg. ; tourteau d'arachide, 0 kg. 500. Le foin de trèfle, de mauvaise qualité, contenait 5 mgr. de carotène par kilogramme et apportait donc quotidiennement 35 mgr. de carotène. La traite était effectuée 2 fois par jour (5 h. et 14 h. 30). L'échantillon de colostrum soumis à l'analyse était un échantillon moyen provenant du mélange de quantités proportionnelles à celles qui étaient recueillies au cours des traites du matin et du soir.

Les dosages suivants étaient effectués le plus rapidement possible : lipides, protides, carotène, vitamine A. Les lipides étaient dosés par la méthode de Gerber, les protides par la méthode de Kjeldahl (azote total × 6,25), le carotène et la vitamine A selon la technique décrite antérieurement. Les tableaux X et XI et les courbes des fig. IX à XVII, traduisent les résultats expérimentaux.

B. *Interprétation et discussion.*

Les quantités totales de lait sécrété, les quantités totales de protides et de lipides augmentent rapidement à mesure que la sécrétion lactée s'installe. Ceci est bien connu.

Mais pour le carotène et la vitamine A, le phénomène présente l'allure inverse. Les premiers jours, les quantités totales excrétées

sont considérables et décroissent ensuite rapidement pour devenir sensiblement constantes au delà du sixième jour.

Les courbes qui représentent les variations des teneurs par litre affectent une allure identique pour les protides, le carotène et la vitamine A. Elles sont d'une régularité remarquable et GRIMMER [77] a pu traduire cette variation des teneurs en protides totaux, en albumine et en extrait sec dégraissé par une loi mathématique. Il semble que le carotène et la vitamine A suivent la même loi.

L'allure est identique pour les variations des quantités totales et des quantités par litre en ce qui concerne le carotène et la vitamine A. Elle est différente pour les protides. La courbe qui repré-

TABLEAU X

TENEURS PAR LITRE DE COLOSTRUM

Date	Jours après vêlage	Lipides Gr.	Protides Gr.	Carotène γ	Vit. A U./litre	Vitamine A γ	Carotène par gramme de lipide	Vitamine A par gramme de lipide
3-3-43	Jour du vêlage 1 seule traite	41	159,5	730	4.800	1.370	17,8	33
4-3-43	1	38	65,4	420	2.600	910	11	24
5-3-43	2	40	47,5	190	1.050	365	4,25	9,1
6-3-43	3	45	47,1	90	640	225	2	5
9-3-43	6	37	43,3	45	340	120	1,18	3,25
12-3-43	9	35,5	—	50	325	114	1,4	3,2
16-3-43	13	33,5	38,5	45	240	84	1,34	2,5

TABLEAU XI

QUANTITÉS TOTALES

Date	Jours après vêlage	Lipides Gr.	Protides Gr.	Carotène γ	Vitamine A γ	Poids de lait Kg.
3-3-43	Jour du vêlage 1 seule traite	72,7	271	1.240	2.340	1,700
4-3-43	1	338,2	582	3.740	8.100	8,900
5-3-45	2	513,2	609,4	2.440	4.700	12,830
6-3-43	3	646,6	676,8	2.190	3.210	14,370
9-3-43	6	537,2	628,7	655	1.740	15,520
12-4-43	9	566,9	—	800	1.820	15,970
16-3-43	13	580,5	667,2	780	1.820	17,330

sente la variation des teneurs en lipides est également différente.

Il n'y a pas parallélisme, dans le colostrum, entre la teneur en lipides et la teneur en facteurs A. Ce fait est bien mis en évidence par l'étude de la variation des quantités de carotène et de vitamine A par gramme de lipides de chaque échantillon. Les teneurs décroissent rapidement et atteignent un minimum en 6 jours pour le carotène ; en 13 jours, il ne semble pas encore atteint pour la vitamine A.

Au sujet de la décroissance rapide des teneurs du colostrum en protides, on remarque que la majeure partie de ces protides sont constitués par des holoprotéides solubles — et en particulier par la globuline. Or, il a été démontré (Crowther et Raistrick) (Woodmann) que les globulines du sang, du colostrum et du lait sont identiques.

Il semble que ce sont les composants non élaborés par la mamelle qui sont les plus abondants dans le colostrum : chlorures, matières minérales, vitamines, alors que les composants synthétisés par la mamelle sont moins abondants (lactose, caséine).

Les propriétés physiques et chimiques de la matière grasse colostrale approchent celles de la graisse de l'animal (Engel, Schlag et Mohr [70], de Vries [71].

C. *Influence de l'alimentation ante-partum sur la teneur du colostrum en carotène et en vitamine A.*

Nous verrons plus loin qu'on ne peut comparer en toute rigueur que les teneurs de colostra de vaches ayant subi le même nombre de parturitions.

Comparons les teneurs en carotène et en vitamine A de deux vaches : l'une, hollandaise, âgée de 7 ans, à son quatrième vêlage, reçoit depuis trois mois au moins : betterave, son mélassé, c'est-à-dire une alimentation presque totalement dépourvue de carotène.

L'autre, normande, est au pâturage depuis 3 mois, et de ce fait ingère une quantité considérable de carotène (de l'ordre de 100 grammes pendant ces 3 mois).

Rappelons les teneurs de chacune des premières traites :

	Carotène γ p./litre	Vitamine A γ p./litre
I	630	1.370
II	2.440	1.900

L'énorme quantité du carotène ingérée 3 mois avant vêlage a eu un effet somme toute assez minime, puisque la teneur du

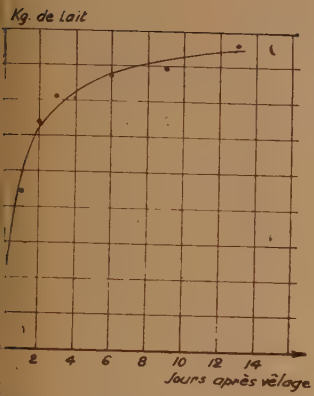


FIG. IX
Quantité de lait secrété

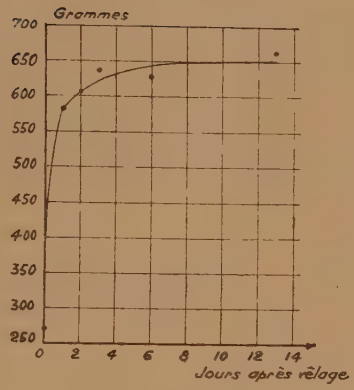


FIG. X
Quantité totale de protides

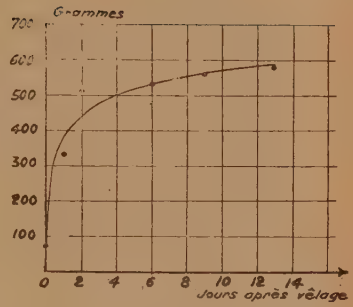


FIG. VI
Quantités totale de lipides

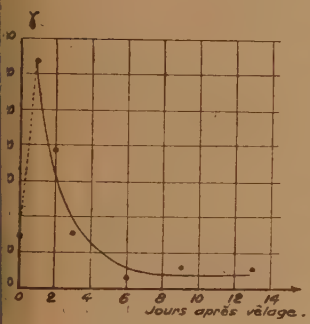


FIG. XII
uantité totale de carotène

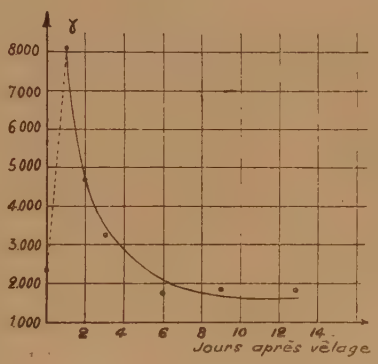


FIG. XIII
Quantité totale vitamine A

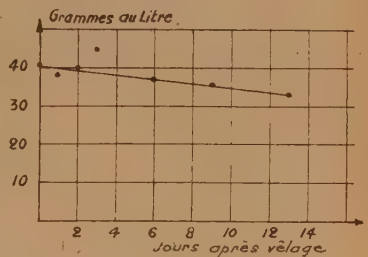


FIG. XIV
Lipides par litres

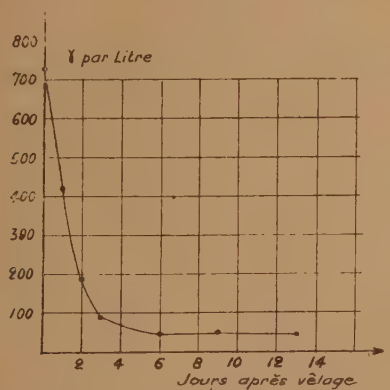


FIG. XV
Carotène par litre

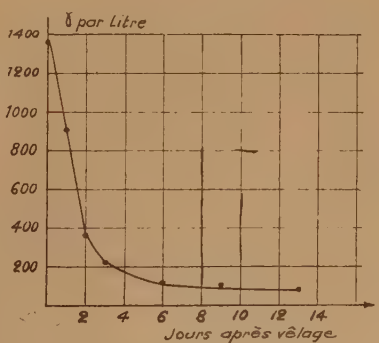


FIG. XVI
Vitamine A par litre

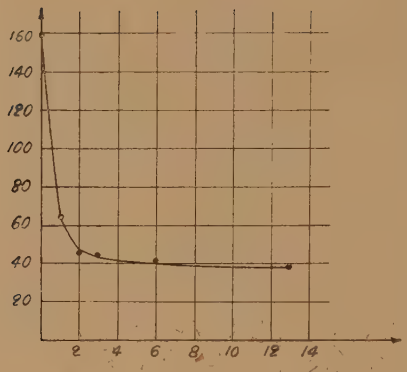


FIG. XVII
Protides par litre

premier colostrum en vitamine A a été multipliée par 2,5 et la teneur en carotène par 3,9, quand la quantité absorbée passait de quelques décigrammes à 100 grammes.

La variation saisonnière dans la teneur du colostrum en vitamine A est beaucoup moins ample que dans le cas du lait ; les teneurs peuvent en effet varier de 1 à 20 pour le carotène, de 1 à 10 pour la vitamine A, respectivement dans le lait d'hiver et le lait d'été.

L'organisme de la vache en gestation ne semble pas pouvoir mettre en réserve les quantités considérables de carotène ingéré ; ou bien, si ces réserves sont constituées, il existe un mécanisme physiologique qui ne permet pas l'excrétion du facteur A au delà d'une certaine limite.

Il semble d'ailleurs que la teneur du colostrum en carotène soit d'avantage influencée par l'alimentation que la teneur en vitamine.

Nous retrouverons le même phénomène à propos de l'étude du lait : les variations saisonnières des teneurs en carotène sont plus grandes que celles de la vitamine A : celle-ci semble être mise en réserve alors que le carotène serait rapidement excrété.

Considérons maintenant le cas d'animaux à l'étable depuis le 15 novembre, et recevant 6 kg. de foin par jour. La vache Florine (deuxième parturition — 5 ans 1/2), vêlée le 9 décembre, recevait 6 kg. de foin par jour une semaine avant vêlage (tableau XV).

La vache Perrine (deuxième parturition — 4 ans), vêlée le 14 février, recevait 6 kg. de foin 2 mois 1/2 avant le part.

Les teneurs de la première traite sont les suivantes :

	Carotène p./litre	Vitamine A p./litre
Florine	2.080	1.630
Périne	860	1.900

Les teneurs en vitamine A sont bien du même ordre de grandeur mais c'est l'animal qui a reçu 6 kg. de foin le plus longtemps qui donne le colostrum le plus pauvre en carotène.

Cependant, on remarque qu'avant le vêlage, Florine n'est restée en stabulation qu'à peine 1 mois, alors que Périne y restait 2 mois. Pendant ce temps, les réserves de carotène se sont rapidement

éliminées — il est difficile de dire comment — puisqu'il n'y a pas eu excrétion par le lait. Peut-être, y a-t-il eu transformation en vitamine A et mise en réserve sous cette forme.

De même, les colostra des deuxièmes traites des vaches : Agrippine (4 ans — deuxième vêlage) et Biquette (4 ans — premier vêlage):

	Carotène γ p./litre	Vitamine A γ/litre
Agrippine	1.850	2.470
Biquette	1.065	2.245

Ici encore, les teneurs en vitamine A sont parfaitement comparables, et les teneurs en carotène différentes. Or, Agrippine recevait 6 kg. de foin une semaine avant vêlage. Biquette ne recevait pas de foin.

Toutefois, la vache Biquette vêlait 1 mois plus tard qu'Agrippine, ce qui pourrait également être la cause de la teneur en carotène plus faible.

B. *Vitesse de variation de la teneur du colostrum en carotène et en vitamine A.*

La fig. XVIII traduit les teneurs en fonctions du temps écoulé depuis le vêlage (en heures) des colostra dont les teneurs sont consignées dans les tableaux X, XII et XIII.

On peut ainsi comparer la variation pour une vache ne recevant pas de foin (courbe I), pour une vache recevant 7 kg. de foin (courbe II), pour une vache au pâturage (courbe III).

La chute est extrêmement rapide dans tous les cas ; les teneurs atteignent pratiquement celles du lait 100 heures après vêlage. Elles se fixent à

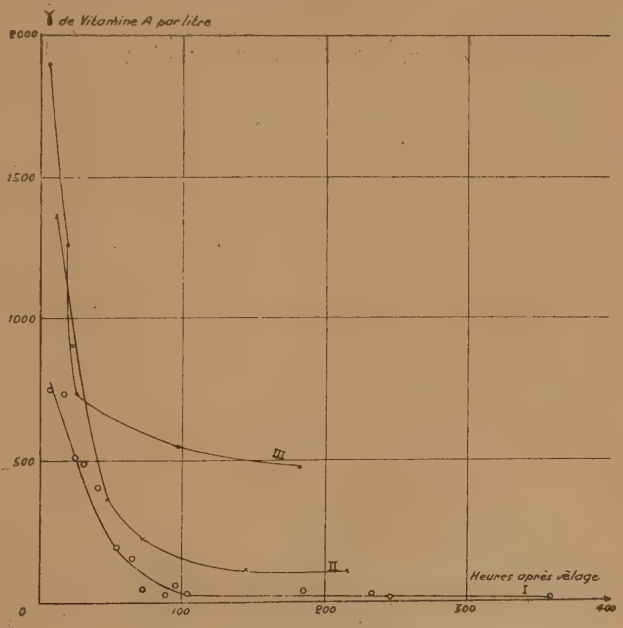


FIG. XVIII

TABLEAU XII

VACHE N° 1

Heures après vêlage	Vit. A U./litre	Vit. A γ/litre	Carotène γ/l	Matière grasse Gr./litre	Vit. A carotène
6	2.150	750	630	28	1,17
16	2.100	740	630	24,5	1,18
23	1.475	512	403	21	1,28
30	1.410	493	425	24	1,16
40	1.160	405	325	23	1,24
47	—	—	188	20	—
54	555	194	210	19	0,93
64	460	162	142	25	1,14
71	144	50	95	30	0,5
78	—	—	—	32	—
88	90	31,5	91	18	0,35
95	183	64	84	24	0,76
102	90	31,5	73	21	0,45
184	156	54,5	77	20	0,71
232	100	35	42	20	0,83
246	55	19	38	18	0,5
352	—	—	30	—	—
359	39	14	20	18	0,7

un taux différent suivant la quantité de carotène contenu dans la ration.

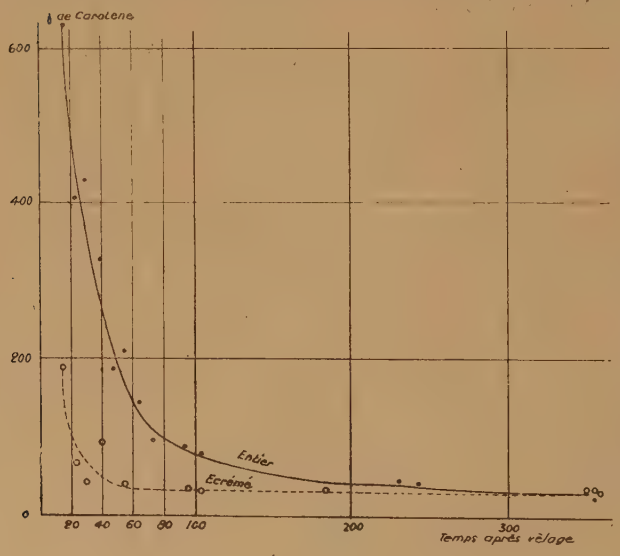


FIG. XIX

La vitesse de variation est sensiblement la même dans les trois cas. Le colostrum I, bien qu'il soit obtenu au moyen de trois traites par 24 heures, a une composition qui ne varie pas plus vite que celle des autres colostra.

La variation des teneurs en carotène affecte

TABLEAU XIII

VACHE N° 3

Heures après vêlage	Jours	Matière grasse Gr./litre	Matière azotée Gr./litre	Matière sèche Gr./litre	Vitamine A γ/litre	Carotène γ/litre
5	—	44	80	156	1.900	2.440
19	1	28	74	140	1.260	2.455
24	1	57	64	142	740	1.490
96	4	33	23	118,5	550	700
134	6	64,5	35	—	690	615
182	8	35	20,5	119,3	475	335

la même allure que la variation des teneurs en vitamine A.

La courbe XIX montre que la teneur en carotène du colostrum écrémé se fixe rapidement à un taux constant qui rejoint celui du lait écrémé.

E. *Carotène et vitamine A par gramme de lipides.*

Les lipides du colostrum écrémé ont la même propriété que ceux du lait écrémé, en ce qui concerne leur pouvoir de fixation du carotène et de la vitamine A. Le colostrum écrémé (2e traite) contient près du tiers du carotène total, et 1/10e de la vitamine A. 1 gramme de lipides du premier colostrum contient 5 fois plus de carotène qu'un gramme de lipides du produit entier.

Les cénapses lipoprotéiques du colostrum sont donc riches en carotène. Elles perdent cette propriété très rapidement, puisque la courbe XIX montre qu'en 40 heures environ, la teneur en carotène des lipides du colostrum écrémé s'abaissent à celles du lait écrémé. Ces complexes jouent-ils un rôle particulier ?

On sait, depuis les travaux de Famulener [72], Sassenhagen [73] et surtout Smith et Little [74] que les anticorps maternels sont transmis au jeune par le colostrum.

Traum [75], Smith et Little ont montré que la transmission de l'immunité ne se fait que dans les deux jours qui suivent la naissance. C'est précisément pendant la même durée que le colostrum écrémé maintient sa teneur élevée en carotène. La chute de la teneur en stérols se produit également dans le même délai.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer ce parallélisme, puisque les cénapses lipoprotéiques contiennent du cholestérol en proportion importante, ainsi que du carotène.

Les cénapses lipoprotéiques du lait semblent par ailleurs contenir des protéines solubles (albumine ou globuline-).

Or, les globulines paraissent être le support des anticorps du colostrum.

CHAPITRE V

RELATION ENTRE L'AGE D'UNE VACHE LAITIÈRE ET LA TENEUR DE SON COLOSTRUM EN VITAMINE A

1. A chaque parturition succède une lactation au cours de laquelle des quantités importantes de carotène et de vitamine A sont excrétées. La teneur du colostrum en vitamine A diminue-t-elle à mesure que la vache vieillit ?

Dann [37] a noté que le colostrum des vaches primipares contient plus de vitamine A que celui des vaches multipares.

Cependant, Stewart et MacCallum [69] expérimentant sur 100 vaches ne trouvent aucune relation entre l'âge des animaux et la teneur de leur colostrum en vitamine A. Ils trouvent une relation entre cette teneur et la période de non lactation. Plus courte est cette période, plus faible est la teneur du colostrum en vitamine A car la vache n'a pu constituer des réserves suffisantes. Chez la femme, Chevallier et Collaborateurs [76] trouvent que le nombre de grossesses antérieures n'a pas d'influence sur la teneur du lait en vitamine A (il s'agit du lait et non du colostrum), alors que cette teneur serait d'autant plus grande que la femme est plus jeune.

2. *Expérience.* Au cours de la période novembre 1943-mars 1944, nous avons étudié les colostra de 16 vaches (14 hollandaises et 2 montbéliardes), soumises avant vêlage à l'alimentation suivante:

Ration de base : 30 à 50 kilogrammes de pulpe de betterave de distillerie (contenant environ 2 grammes d'acide sulfurique par kilogramme), 1 kilogramme d'aliment concentré contenant 500 microgrammes de vitamine A par kilogramme, et un apport de carotène sous forme de foin (environ 15 mgr. de carotène par kilogramme) pendant des périodes de durée différentes.

Les vaches dont les noms se terminent en « a » et en « ette » ne recevaient pas de foin avant vêlage.

La vache Périne recevait 6 kg. de foin 2 mois et demi avant vêlage.

La vache Bondine recevait 6 kg. de foin 1 mois avant vêlage.

La vache Delphine recevait 6 kg. de foin 3 semaines avant vêlage.

La vache Florine recevait 6 kg. de foin 1 semaine avant vêlage.

La vache Agrippine recevait 6 kg. de foin 1 semaine avant vêlage.

La vache Céline recevait 6 kg. de foin 24 heures avant vêlage.

Ondine recevait 4 kg. de foin et pâturait 4 heures par jour.

Les dosages de carotène et de vitamine A étaient effectués par la technique décrite page 43. Certains étaient vérifiés par la méthode spectrophotométrique. Les résultats sont consignés dans le tableau XIV.

Nous avons étudié ces colostra jusqu'à leur transformation en lait normal (tableau XV), mais nous ne considérons dans le tableau XIV que les teneurs en carotène et en vitamine A du premier échantillon de colostrum (prélevé dans un délai variant de quelques minutes à dix ou douze heures après vêlage). La courbe XX traduit ces résultats.

Il a été indispensable d'éliminer quelques points expérimentaux : ceux qui correspondent :

1. Aux colostra provenant d'une deuxième traite : ceci est évident puisque nous comparons uniquement les colostra des premières traites (Vonette, Riquette, Rosa). Les résultats sont portés pour mémoire dans le tableau.

2. Aux colostra de vaches mammiteuses.

La teneur en vitamine A des vaches mammiteuses est en général très élevée. Le rapport vitamine A/carotène de ces colostra les écartent des colostra normaux (Christine, Chaumette). Dans le lait des vaches infectées, Miller et Coll. [79] ont trouvé un fait analogue.

Enfin, le colostrum de Nadine, vache insuffisamment tarie, a été considéré comme anormal. Les teneurs extrêmement faibles en carotène et en vitamine A de cette vache mal tarie appuie l'hypothèse de Stewart et MacCallum. L'animal n'a pu constituer des réserves vitaminiques pendant la période de non lactation.

Nous n'avons pu, malheureusement, connaître la durée de la période de non lactation de toutes les vaches en expérience.

Ces restrictions faites, on voit que la date de vêlage n'a pas d'influence notable sur la teneur du colostrum en vitamine A.

L'ingestion de 6 kilogrammes de foin pendant des temps différents avant vêlage ne paraît pas exercer d'influence sur cette teneur. Ces deux derniers facteurs semblent influer davantage sur la teneur du colostrum en carotène (voir page 68).

TABLEAU XIV

Nom de la vache	Date de vêlage	Age de la vache années	Nb. de partu-ritions	Inter-valle entre le vêlage et la 1re traite	Vit. A γ/l	Carotène γ/l	Vita-mine A Caro-tène
*Agrippine	9-12-43	4	1	2	2.470	1.850	1,34
*Vonette	31-12-43	4	1	—	1.150	2.850	0,40
"Riquette	2-2-44	4	1	12	2.245	1.065	2,10
Perrine	14-2-44	4	2	3	1.900	860	2,20
"Nadine	6-3-44	5	2	aussitôt	670	335	2
Florine	9-12-43	5,5	2	8	1.630	2.080	0,78
Ondine	25-11-43	6	3	2	1.645	3.370	0,48
*Céline	3-12-43	6	3	5	960	1.300	0,74
"Christine.....	31-1-44	6,5	3	5	2.025	740	2,75
*Chaumine (Sp)..	26-12-43	7	3	—	1.420	—	—
Maïka (Sp)	28-1-44	9	5	12	760	—	—
*Bondine	26-12-43	9	6	aussitôt	1.200	1.800	0,67
"Rosa	4-1-44	9	3(?)	10	1.150	760	1,55
"Chaumette	4-1-44	9,5	6	—	2.000	530	3,75
Delphine.....	14-12-43	10	6	12	1.190	1.040	1,14
"Tartelette	31-12-43	10,5	6	aussitôt	335	620	0,54

Le signe * indique que le dosage spectophotométrique a été fait en même temps que la réaction de Carr et Price.

Le signe (Sp) indique que seul, le dosage spectrophotométrique, a été fait.

Le signe " que ce résultat a été éliminé dans l'étude qui suit.

Il apparaît que le colostrum des vaches jeunes a une teneur en vitamine A supérieure à celle des vaches plus âgées (fig. XX).

Les vaches de 4 ans, en particulier, donnent un colostrum nettement plus riche en vitamine A que les autres vaches.

La teneur décroit avec l'âge, mais la chute est particulièrement sensible entre 4 et 5-6 ans, ou mieux, entre la première et la deuxième parturition.

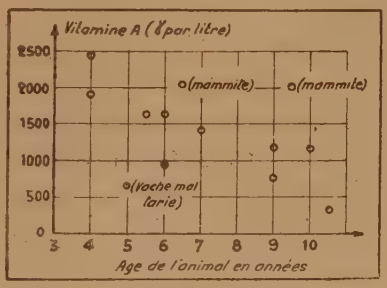


FIG. XX

Il apparaît donc que le nombre de parturitions subies par l'animal influe davantage que l'âge proprement dit.

Le tableau XV donne la moyenne des teneurs de colostrum de vache de la première à la sixième parturition. La figure XXI traduit les résultats.

TABLEAU XV

Nombre de parturitions	Teneurs en vit. A γ/l	Moyenne	Teneurs en carotène γ/l	Moyenne	Vit. A/ Carotène
1	Pour 2.470 mémoire (1.150 2e traite (2.245	2.470 Pour mémoire 1.955	1.850 1.065	1.455 1.455	1,33 1,82
2	1.900 1.630	1.765	860 2.080	1.470	1,20
3	1.645 960 1.420	1.330	337 1.300	2.335	0,57
5	(Sp) 760	760	—	—	—
6	1.200 1.190 335	875	1.800 1.040	1.420	0,61

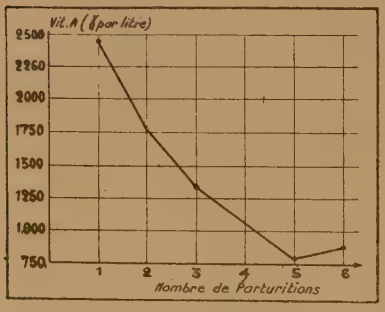


FIG. XXI

Il existe donc une relation entre le nombre de parturitions et la teneur du colostrum en vitamine A. Cette teneur diminue quand le nombre de parturitions augmente. La diminution est surtout sensible entre le premier et le second vêlage.

La teneur en carotène ne dépend pas aussi étroitement du nombre de parturitions ; la moyenne de ces teneur ne peut être prise en considération, car la dispersion des résultats est très grande.

La teneur du colostrum en carotène semble être influencée par l'alimentation antérieure au vêlage, et la durée de stabulation.

Par exemple, la vache Ondine, qui a vêlé la première du lot,

après la rentrée du pâturage, donne un colostrum dont la teneur en vitamine A se place normalement selon le nombre de parturitions, mais dont la teneur en carotène atteint une valeur élevée.

Les teneurs en carotène sont — toutes choses égales d'ailleurs — d'autant moins élevées que le vêlage s'est produit plus tardivement dans le cours de l'hiver. Les vaches se déchargeaient de leurs réserves en carotène, alors que pour la vitamine A il interviendrait une sorte de régulation.

Les variations individuelles peuvent toutefois être importantes.

L'étude de l'influence de l'alimentation sur la teneur du colostrum en vitamine A a été vue page 66.

Rapport vitamine/carotène.

Le rapport vitamine/carotène est maximum dans le colostrum des vaches primipares. Il décroît quand le nombre de parturitions augmente (fig. XXII).

Que faut-il en déduire ?

L'épithélium mammaire jeune a-t-il une structure telle que la vitamine A le traverse plus aisément que le carotène ? (ce qui se conçoit quand on compare les formules développées de ces deux corps). L'organisme jeune a-t-il un pouvoir accru de transformer le carotène en vitamine A et la synthèse peut-elle se faire dans la mamelle ?

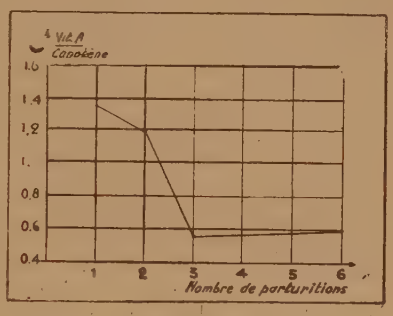


FIG. XXII

Le tableau XVI montre que le rapport vitamine/carotène demeure sensiblement constant, chez les vaches jeunes, à mesure que la lactation s'installe. Il augmente souvent, chez les vieilles mais demeure inférieur à celui des jeunes. Rappelons que nous avons remarqué que le rapport vitamine/carotène du colostrum de vaches atteintes de mammite est supérieur à celui de vaches saines.

L'excrétion urinaire de la vitamine A a été signalée au cours d'infections (Lindqvist). L'épithélium mammaire ne laisserait donc pas passer le carotène et la vitamine A avec une égale facilité selon l'âge et l'état de santé de l'animal.

Lorsque la durée de l'intervalle écoulé entre le vêlage et la première traite est de l'ordre de quelques heures, la teneur du colostrum en vitamine A ne semble pas être sous l'influence de cette durée.

Importance physiologique.

La réserve organique de carotène et de vitamine A des vaches primipares est intacte lorsque survient le vêlage.

TABLEAU XVI

Nom de la vache	Age	Race	Date	Nb. de veaux	Heures après vêlage	N° de la traite	Carotène	Vit. A	Vit. A/Car.
Céline	6	Holl.	3-12-43	3	5	1	1.300	960	0,75
			3-12-43		15	2	2.440	1.960	0,81
			4-12-43		27	3	1.040	1.470	1,4
Florine ...	5 ½	Holl.	9-12-43	2	8	1	2.080	1.630	0,78
			9-12-43		17	2	1.910	1.980	1,04
			10-12-43		29	3	1.095	960	0,87
Agrippine .	4	Holl.	9-12-43	1	2	1	1.850	2.470	1,34
			9-12-43		10	2	1.910	2.270	1,2
Ts			9-12-43		22	3	550	740	1,34
llait du			31-3-44				35	40	1,24
Bondine...	9	Holl.	26-12-43	6	aussitôt	1	1.800	1.200	0,65
			26-12-43		7,30	2	1.300	1.100	0,85
Ts			27-12-43		21	3	520	600	1,2
			28-12-43		44	5	680	650	0,96
lait du			31-3-44				35	—	—
Tartelette .	10 ½	Holl.	31-12-43	6	qq. min.	1	620	335	0,55
			1-1-44		23	3	475	315	0,66
Fs			2-1-44		47	5	230	200	0,87
			31-1-44		71	7	220	240	1,09
lait du							35	65	1,86
Biquette ..	4	Holl.	3-1-44	1	12	2	1.065	2.245	2,1
			3-1-44		24	3	490	760	1,5
			4-1-44		48	5	235	515	2,2
			5-1-44		72	7	165	350	2,1
Périne	4	Holl.	15-2-44	2	2	1	860	1.900	2,2
					14	2	390	265	—
Ta					38	4	220	500	2,25
					43	5	170	500	2,95
					67	7	135	330	2,45
					115	11	45	170	3,8
lait du			15-4-44				25	90	3,6

TABLEAU XVI *(suite)*

Nom de la vache	Age	Race	Date	Nb. de veaux	Heures après vêlage	N° de la traite	Carotène	Vit. A	Vit. A/Car.
Nadine ...	5	Holl.	6-3-44	2	2	1	335	670	2
					26	3	205	420	2,02
					74	7	170	330	1,94
					98	9	90	180	2
					122	11	60	170	2,8
					182	16	30	85	2,85
lait du			3-3-44				40	45	
			15-4-44				20	65	
Chaumine .	7	Holl.	8-3-44	3 (?)	2	1	375	1.420	3,8
					26	3	93	1.030	1,1
					50	5	92	700	7,6
					74	7	120	400	3,35
Delphine .						1	1.040	1.190	1,14
lait du			31-3-44				55	70	1,28
Vonette ..	4	Holl.	31-12-43	1	10	2	2.850	1.150	0,4
			1-1-44		24	3	760	1.100	1,45
			2-1-44		48	5	600	850	1,4
			3-1-44		72	7	260	425	1,6
Rosa	9	Montbél.	4-1-44	3 (?)	10	2	760	1.150	1,55
			5-1-44		24	3	305	500	1,65
			5-1-44		35	4	380	670	1,75
			6-1-44		48	5	340	525	1,55
Chaumette	9 ½	Holl.	4-1-44			1	530	2.000	3,8
						2	800	1.950	2,45
						3	310	725	2,35
Christine	6 ½	Holl.	31-12-43	3	6	1	740	2.025	2,75
			31-12-43		15	2	430	1.240	2,8
			1-1-44		30	3	205	660	3,2
			2-1-44		54	5	125	360	2,8
			3-1-44		78	7	90	245	2,7
Maïka	9	Montbél.	28-1-44	5	12	1	240	760	3,15
					21	2	308	426	1,44
					33	3	222	246	1,12
					57	5	192	224	1,17
					84	7	183	164,5	0,9

Il est concevable que les colostra de ces vaches soient les plus riches en vitamine A.

L'exportation de vitamine A pendant la période colostrale est de l'ordre de 20-25 mgr.

Au cours d'une lactation donnant 3.000 litres de lait contenant en moyenne 100 γ de vitamine A par litre, l'excrétion totale de vitamine est d'environ 300-400 mgr. (ce chiffre est un minimum).

L'animal peut-il continuer à mettre en réserve la vitamine A pendant la lactation ? Evidemment non lorsque l'apport de carotène de la ration est nul ou insignifiant.

Mais, même lorsque l'animal est au pâturage et reçoit une quantité considérable de carotène, les réserves ne semblent pas se reconstituer complètement puisque la teneur du colostrum en vitamine A décroît quand le nombre de parturitions augmente.

Il semble donc que cette chute de la teneur en vitamine A est due au vieillissement de l'organisme.

La petite quantité de vitamine A ingérée par les vaches avant vêlage n'a pu augmenter les teneurs des colostra. Il serait toutefois intéressant de vitaminer hautement les vaches avant vêlage, pendant la période de non lactation. On pourrait peut-être de cette façon augmenter non seulement la teneur du colostrum mais aussi celle du lait en vitamine A.

On sait, en effet, que ce facteur est indispensable pour l'élevage normal du veau et cette tentative, en dehors de son intérêt physiologique, présenterait un intérêt zootechnique certain.

Le tableau XVI mentionne les résultats que nous avons obtenus dans l'étude de la variation de la teneur du colostrum en vitamine A.

CHAPITRE VI

TENEURS COMPARÉES DU LAIT EN LIPIDES, EN CAROTÈNE ET EN VITAMINE A EN FONCTION DE L'INTERVALLE ENTRE DEUX TRAITES CONSÉCUTIVES

1. Il est bien connu que le meilleur moyen pour tarir une vache laitière consiste à favoriser la rétention du lait dans la mamelle. Ce fait a été considéré par quelques auteurs comme étant dû à l'accumulation des produits de la sécrétion, conduisant au ralentissement et à la cessation de l'élaboration comme à la fin d'une réaction chimique régie par la loi d'action des masses.

En faisant varier l'intervalle de temps séparant deux traites consécutives, Ragsdale, Brody et Turner [33] ont montré que la quantité de lait sécrété dans chaque intervalle horaire atteint les 95/100^{e} de la quantité sécrétée dans l'intervalle horaire précédent. Hammond [31], après Swett et Collaborateurs [32], ont pensé que ceci était dû à l'accroissement de la pression provoquée par l'accumulation du lait dans la mamelle à mesure que le temps écoulé depuis la précédente mulsion augmente, et non à l'action chimique des constituants sur la sécrétion lactée. Le lait du matin — obtenu après un long intervalle — a un taux butyreux plus faible que celui du soir, obtenu après un intervalle plus court. Quelques auteurs ont suggéré que ce fait était dû à la résorption de la matière grasse pendant la rétention. La matière grasse se résorbe en partie et cette résorption peut être mise en évidence par l'étude cytologique du lait de rétention. On voit apparaître rapidement dans le lait de rétention des corpuscules granuleux qui ressemblent étroitement aux corpuscules de Donné du colostrum.

Ce sont des éléments phagocytaires qui apparaissent pour favoriser la résorption des substances colloïdales ou des substances en suspension comme la graisse qui ne peuvent passer par dialyse ou par filtration à travers l'épithélium mammaire.

Cependant, pour Hammond, cette théorie n'est pas satisfaisante, car s'il y avait résorption de quelque constituant, ce devrait être du plus diffusible (lactose) et non de la matière grasse qui est le constituant le moins diffusible du lait.

De fait, on observe une forte résorption du lactose pendant la rétention. Hammond pense néanmoins que la pression intra-

mammaire est seule responsable des différences enregistrées dans les teneurs en matière grasse du lait obtenu après différents intervalles.

La pression agit sur la quantité de graisse produite et sur la composition du lait par deux voies différentes :

a) Par inhibition du processus d'élaboration ;

b) En affectant la facilité avec laquelle les globules de graisse tombent à travers les capillaires.

Nous avons voulu chercher si la sécrétion du carotène et de la vitamine A était influencée de la même façon que celle des lipides par l'accroissement de la pression intra-mammaire, et comment se comportent ces corps dans la rétention lactée.

Le facteur A est en effet lipo-soluble, et l'on peut se demander si les lipides, le carotène et la vitamine A subissent le même sort au cours de la sécrétion lactée.

2. *Expérience.* — L'étude a porté sur trois vaches de race hollandaise.

La vache I demeurait en stabulation et recevait 80 à 90 kilogrammes de pulpe ensilée et 7 kilogrammes de foin de trèfle de mauvaise qualité.

Les vaches II et III étaient au pâturage et recevaient de ce fait une quantité considérable de carotène.

Dans le premier cas, l'animal était trait trois fois en 24 heures ; la première traite (traite origine) soit à 5 heures soit à 14 heures ; la seconde, après l'intervalle désiré ; la troisième, à l'heure habituelle de la traite (5 ou 14 heures).

Dans le second cas, un repos de 48 heures était accordé à l'animal entre deux intervalles expérimentaux successifs.

Les résultats sont consignés dans le tableau XVII.

A. Interprétation et discussion

Les courbes XXIII (a et b) et XXIV montrent qu'il n'y a pas proportionnalité entre les concentrations (teneurs par litre) en lipides et en carotène ou en vitamine A (au moins dans certains intervalles).

Dans les intervalles de 0 h. 5 à 1 h. 5, de 1 à 2 heures, respectivement pour les vaches II et III, la teneur en lipides diminue plus vite que la teneur en carotène ou en vitamine A.

Puis, entre 1 h. 5 et 2 heures dans un cas, entre 2 et 3 heures dans l'autre, il se produit une cassure brusque dans la courbe (qui, rappelons-le, traduit les variations de la teneur en vitamine A ou

TABLEAU XVII

Intervalle heures	Lipides gr./l			Carotène γ/l			Vitamine A γ/l		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0,5	78	65	55	128	288	162	128	287	142
1	76,5	64	73	—	—	340	—	—	250
1,5	—	57,5	73	—	335	—	—	296	—
2	48	53	50	120	226	318	126	191	270
3	49	50	43	112	265	200	126	178	170
4	38,5	45	—	—	155	—	—	172	—
5	42	—	—	88	—	—	120	—	—
6	—	—	39,5	—	—	141	—	—	162
8	—	35	34	—	—	—	—	—	—
9	34	—	—	88	—	—	96	—	—
10	—	41	35	—	140	—	—	160	—
12	27	31	32	84	156	133	91	142	180
13	28	—	—	105	—	—	87,5	—	—
14	—	27	—	—	—	—	—	—	—
14,5	28	—	—	80	—	—	76	—	—

en carotène par litre en fonction de la teneur en lipides). Dans cet intervalle, la teneur en vitamine A varie plus rapidement que la

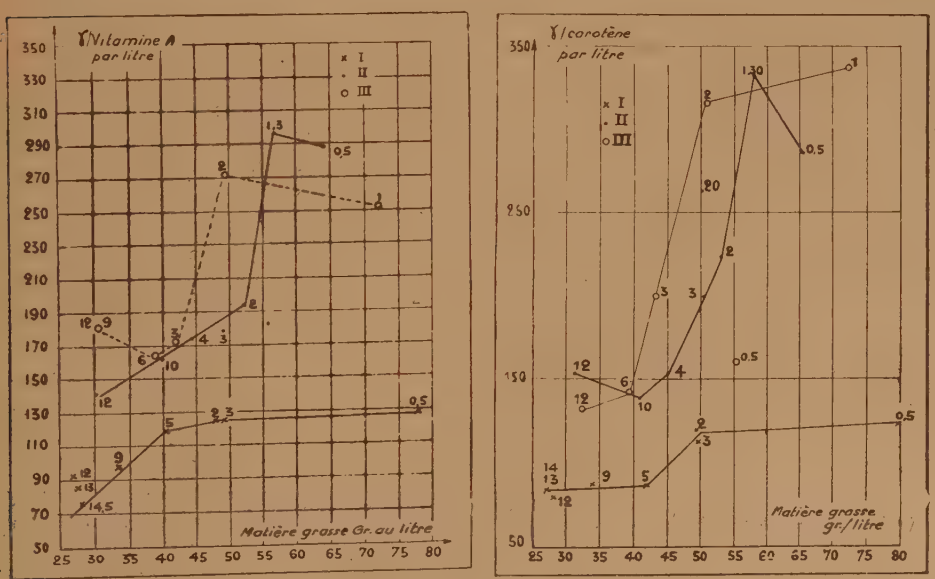


FIG. XXIII (*a et b*)

teneur en lipides. Puis, pour les intervalles supérieurs à 2-3 heures, il semble qu'il y ait proportionnalité entre la teneur en lipides et la teneur en vitamine A. Le point « 12 heures » de la vache III est en effet vraisemblablement aberrant.

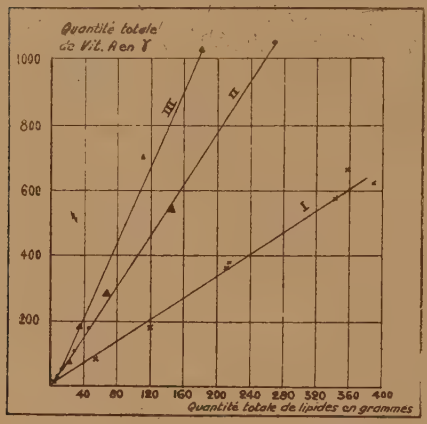


FIG. XXIV

Lorsque la vache reçoit peu de carotène (I), il existe une seule discontinuité dans la courbe.

Dans les grands intervalles, les quantités totales de carotène et de vitamine A sont sensiblement proportionnelles aux quantités totales de lipides produits (courbe XXIV).

Ainsi, lorsque la pression intra-mammaire est faible, l'élaboration des lipides et le passage de la vitamine A ne semblent pas s'effectuer parallèlement. Dans les deux premières heures de la sécrétion, l'élaboration des lipides est davantage inhibée par l'accumulation des produits que le passage de la vitamine A du sang au au lait. Puis, bruquement le phénomène inverse se produit, et nous ne pouvons, actuellement en déterminer la cause.

Enfin, dans les grands intervalles, l'élaboration des lipides et le passage de la vitamine A semblent s'effectuer parallèlement.

Des difficultés tout à fait indépendantes de notre volonté (expérience effectuée en août 1944) nous ont empêchés d'effectuer un plus grand nombre de prélèvements et de dosages, les moyens de transport, l'électricité et le gaz faisant presque totalement défaut à Paris à ce moment.

Cette étude sur la composition chimique du lait en fonction de l'intervalle entre deux traites consécutives serait à reprendre. Il y aurait lieu d'étudier en détail l'élaboration des différents constituants du lait : des acides gras, des stérols, des phospholipides pour les lipides ; de la caséine, de l'albumine, de la globuline afin d'étudier comment la mamelle effectue la synthèse de la caséine; étude des éléments minéraux, des diastases et des vitamines enfin.

CHAPITRE VII

I. INFLUENCE DE L'ALIMENTATION SUR LA TENEUR DU LAIT EN CAROTÈNE ET EN VITAMINE A

A. La littérature fournit de nombreux chiffres sur les teneurs du lait en carotène et en vitamine A. On note une extrême variabilité de ces teneurs. Les auteurs l'attribuent principalement à l'influence de l'alimentation, mais il est aussi possible que, dans ces divergences, interviennent les différents modes de dosage utilisés.

D'autre part, les auteurs déterminent les teneurs en carotène et en vitamine A soit du lait, soit du beurre, et ces valeurs ne sont pas toujours comparables.

Citons par exemple les chiffres trouvés en Belgique par Deco [80] étudiant des laits du commerce : les teneurs en facteur A les plus élevées s'observent en avril et octobre, et les plus basses sont obtenues en février. La teneur en vitamine A varie de 1 microgramme pour 100 cm³ (hiver) à 20 microgrammes (été) et la teneur en carotène de 5 à 25 microgrammes.

Willsteadt et With [36] trouvent pour les laits d'été de 150 à 300 unités internationales de vitamine A, et de 60 à 100 unités en hiver. Pour le beurre, Baumann et Steenbock [38] citent les chiffres extrêmes de 25 à 880 γ de carotène, et de 158 à 922 γ de vitamine A pour 100 grammes de beurre.

D'après la littérature, Mme Randoin [81] cite les chiffres extrêmes de 4 à 50 γ de carotène et de 2 à 50 γ de vitamine A pour 100 cm³ de lait avec comme teneur moyenne 14 γ de carotène et 14 γ de vitamine A. Cet auteur cite en particulier les chiffres trouvés en France par Javillier [1] : 17 γ de vitamine A pour 100 cm³ de lait (en janvier) avec les teneurs extrêmes de 13 à 22 γ.

Le travail de Cary [82] résume excellemment les recherches faites sur l'influence de l'alimentation sur la teneur du lait en carotène et en vitamine A.

La conclusion à laquelle arrivent tous les auteurs est que la teneur du lait en carotène et en vitamine A dépend étroitement des quantités de carotène et de vitamine A apportées par la ration. Peterson et Coll. [62], Gillam et Heilbronn [83], Van Wijngaarden [84], Sutton et Krauss [85], Hodgson et Coll [86], Smith et Powell [87], Meigs [88].

Cependant, la teneur du lait en facteur A n'est pas porportionnelle à la quantité de carotène ingéré. Smith et Powell, Gillam et Heilbronn, Russel, Taylor et Coll. [89].

Cary [82] signale le fait que malgré les énormes quantités de carotène ingérées par une vache laitière à la pâture, la teneur en vitamine A de la matière grasse du lait n'augmente pas indéfiniment.

B. Essais d'enrichissement du lait en vitamine A

On possède peu de données sur l'enrichissement de la teneur du lait en vitamine A par addition de vitamine proprement dite à la ration. Les quelques expériences tentées à cet égard ont d'ailleurs peu d'intérêt pratique, en raison des hautes doses de vitamine administrées. Par exemple, un apport de 30.000 unités par jour augmente la teneur du lait. Un apport de 700.000 unités augmenterait considérablement cette teneur [97].

C. Expérience

On ne possède pas de renseignements sur la teneur en vitamine A du lait obtenu dans les conditions de la pratique agricole française, et plus particulièrement sur les teneurs des laits provenant des fermes de la Région parisienne. Ces laits sont destinés en grande partie à l'alimentation des enfants parisiens. Il est donc important d'en connaître l'activité vitaminique.

Cette expérience permet de montrer les erreurs d'alimentation commises dans les régions de grande culture.

Au point de vue physiologique, elle permet d'étudier l'influence de l'alimentation sur la teneur du lait en vitamine A et les influences secondaires : variations individuelles, variations dues à la race, influence de l'état de lactation.

Nous avons d'autre part recherché si les quantités de vitamine A ajoutées quelquefois à la ration des vaches laitières dans les conditions de la pratique agricole française étaient susceptibles d'augmenter la teneur du lait en vitamine A.

Les animaux demeuraient à l'étable du mois de novembre au mois d'avril. L'expérience a été poursuivie du début du mois de novembre au début du mois d'août.

a) *Constitution des lots.*

Nos essais ont porté sur 65 vaches laitières — pour la plupart hollandaises — réparties en 3 étables distinctes. Le lot B comprenait des vaches hollandaises, normandes et montbéliardes, ne recevant point de foin. Le lot F, constitué de vaches hollandaises, rece-

vait 2 kg. de foin. Le lot T, constitué également de vaches hollandaises, recevait 6 kg. de foin (1).

Chacun de ces lots était lui-même divisé en deux groupes, l'un ne recevant pas de vitamine A, l'autre recevant une solution huileuse de vitamine A exactement titré (huile de foie de poisson) dont la teneur était de l'ordre de 500 microgrammes de vitamine A par gramme.

Les rations alimentaires de chaque lot étaient comparables au point de vue de leur valeur énergétique et de l'apport en matières azotées. Tous les sept jours, la ration d'aliments concentrés, dépourvue de carotène, était ajustée d'après les besoins théoriques de chaque animal, à l'aide des résultats du contrôle laitier de la semaine écoulée.

L'huile était versée à la pipette, directement sur l'aliment concentré au moment de la distribution aux animaux, de telle façon que l'apport de vitamine A soit exactement de 500 γ par kilogramme de concentré. Le fait d'utiliser une huile de foie de poisson comme source de vitamine A nous a obligés à tenir compte de l'apport de vitamine D_2. C'est pourquoi nous avons fourni quotidiennement aux animaux composant ce second groupe de chaque lot une quantité équivalente de vitamine D_2 à l'aide d'une solution commerciale de calciférol.

b) *Prélèvement des échantillons.*

Les prélèvements de lait étaient effectués d'abord chaque semaine, à l'entrée en stabulation, puis mensuellement au cours de l'hiver, puis à quelques jours d'intervalle, lors de la mise à l'herbe.

Des échantillons moyens et des échantillons individuels étaient prélevés. Les échantillons moyens, provenaient du mélange de parties aliquotes des productions laitières de chacune des vaches du groupe considéré.

c) *Résultats.*

Les résultats sont consignés dans les tableaux XVIII, XIX, XX, XXI.

Les courbes de la figure XXV traduisent les variations des teneurs du lait en carotène et en vitamine A. Pour la clarté du graphique on n'a porté que les courbes moyennes. Chaque ordonnée représente la moyenne des teneurs des laits de chacun des groupes. Les teneurs sont exprimées en microgrammes de vitamine A et de carotène par litre de lait (en prenant 1 unité internationale : 0,35 γ).

(1) Le foin contenait 14 milligrammes de carotène par kilogramme.

TABLEAU XVIII

LAITS MOYENS. LOT B

Date	Groupe Bs Pas de foin — Sans vitamine			Groupe Ba 6 kg. de foin — avec vitamine A		
	Carotène γ/l	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.	Carotène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.
8-11-43	300	225	0,75	300	225	0,75
5-11-43	270	210	0,78	270	210	0,78
22-11-43	285	140	0,49	285	140	0,49
29-11-43	275	120	0,43	275	120	0,43
8-12-43	135	70	0,52	90	80	0,88
23-12-43	90	85	0,95	55	90	1,64
6-1-44	100	90	0,90	100	80	0,8
27-1-44	50	95	1,9	60	100	0,67
7-2-44	50	95	1,9	55	100	0,81
21-2-44	55	55	1	50	45	0,90
20-3-44	40	55	1,97	35	65	1,86
30-3-44	15	50	3,35	15	53	3,5
13-4-44	37	55	1,48	25	53	2,1
20-4-44	65	110	1,68	65	110	1,7
27-4-44	155	130	0,84	140	110	0,79
30-4-44	220	130	0,59	190	145	0,76
25-5-44	250	170	0,68	260	190	0,73
5-8-44	140	135	0,96	220	100	0,45

E. Interprétation et discussion

Les teneurs du lait en carotène et en vitamine A atteignent des valeurs extrêmement faibles après une période de stabulation de quelques semaines. Dans les conditions d'alimentation précisées plus haut, ces teneurs s'abaissent à l'ordre de grandeur des teneurs du lait écrémé.

L'alimentation exclusivement lactée des enfants peut alors présenter des inconvénients graves et doit être accompagnée d'un apport de vitamine A (et vraisemblablement D). Les besoins quotidiens de l'enfant sont d'environ 500 γ. 1 litre de lait d'hiver apporte 60 γ de vitamine A et 50 γ de carotène.

L'ingestion de pulpe de betterave de distillerie (contenant 1 à 2 grammes d'acide sulfurique par kilogramme) ne paraît pas être responsable de ces basses teneurs du lait en facteurs A. En effet, un lait, provenant d'une vache hollandaise nourrie de betterave fraîche et de foin présentait une teneur de 50 microgrammes de

TABLEAU XIX

LAITS MOYENS. LOT F

Date	Groupe Fs 2 kg. de foin — Sans vitamine			Groupe Fa 2 kg. de foin — Avec vitamine		
	Carotène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.	Carotène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.
8-11-43	345	390	1,13	345	390	1,13
15-11-43	285	240	0,84	285	240	0,84
22-11-43	280	210	0,75	280	210	0,75
29-11-43	220	160	0,73	220	160	0,73
8-12-43	160	130	0,81	140	120	0,86
23-12-43	80	155	1,94	50	65	1,3
6-1-44	75	60	0,80	80	120	1,5
27-1-44	60	105	1,75	60	65	1,08
7-2-44	50	90	1,8	55	100	1,82
21-2-44	55	60	1,09	60	45	0,75
30-3-44	45	50	1,11	20	55	2,75
13-4-44	30	85	2,8	35	87,5	2,5
20-4-44	85	105	1,23	110	200	1,82
27-4-44	230	165	0,9	185	185	1
30-4-44	245	175	0,71	215	160	0,74
25-5-44	230	155	0,67	230	230	1
5-8-44	140	100	0,71	120	150	1,25

carotène et de 100 microgrammes de vitamine A par litre (fin janvier), puis de 50 γ de carotène et 75 γ de vitamine A.

Un autre échantillon de lait d'une vache hollandaise recevant 15 kilogrammes de betterave, 3 kilogrammes de paille, 2 kilogrammes de tourteau de lin contenait 50 γ de carotène et 80 γ de vitamine A par litre (début mars).

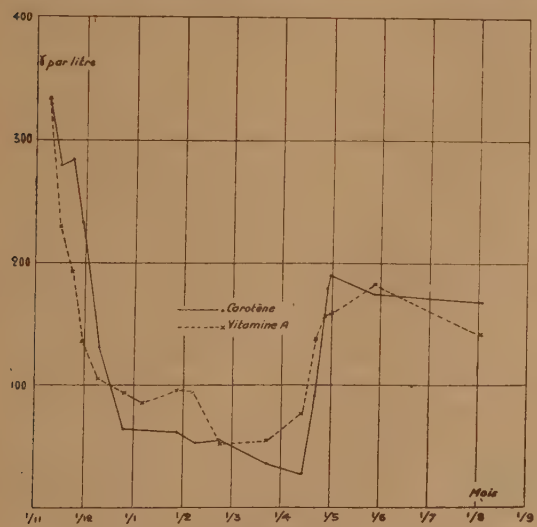


FIG. XXV.

La teneur moyenne de 50 γ de carotène et de 60 de vitamine A par litre semble caractériser les laits d'hiver de la région parisienne.

Dans le même temps, une vache normande et une bretonne Pie-Noire, nourries exclusivement de foin,

TABLEAU XX

LAITS MOYENS LOT T

Date	Groupe Ts 6 kg. de foin— Sans vitamine			Groupe Ta 6 kg. de foin— Avec vitamine		
	Carotène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.	Carotène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.
8-11-43	345	390	1,13	345	390	1,13
15-11-43	285	240	0,81	285	240	0,81
22-11-43	295	230	0,78	295	230	0,78
29-11-43	205	130	0,64	205	130	0,64
23-12-43	70	80	1,14	40	90	2,25
30-12-43	75	100	1,33	92,5	110	1,19
27-1-44	70	105	1,5	70	105	1,5
7-2-44	85	85	1	65	100	1,52
21-2-44	50	60	1,2	60	50	0,83
20-3-44	45	45	1	30	60	2
13-4-44	22	95	4,3	15	85	0,5
20-4-44	130	225	1,72	37	80	2,15
27-4-44	200	135	0,67	165	195	1,18
30-4-44	265	180	0,68	—	—	—
25-5-44	265	240	0,9	205	200	0,97
5-8-44	140	180	1,28	240	175	0,76

donnaient un lait dont les teneurs étaient respectivement de 170 et 310 γ de carotène, et de 190 et 180 γ de vitamine A par litre (fin mars).

Intermédiairement, le lait d'une vache hollandaise nourrie de moha ensilé contenait 155 γ de carotène et 135 γ de vitamine A par litre (15 février).

L'ingestion quotidienne de 2 à 6 kilogrammes de foin (soit de 28 à 44 mgr. de carotène) pendant la période de stabulation n'a pas augmenté la teneur du sang en vitamine A (p. 61).

La teneur moyenne des laits moyens au cours de la période novembre-août est légèrement supérieure dans les lots T et F à celle du lot B. La différence est d'ailleurs très faible. Pour la vitamine A, ls valeurs sont les suivantes : Bs 112 ; Ba 112 ; Fs 147 ; Fa 152 ; Ts 159 ; Ta 155,5.

Les teneurs en carotène sont alors : Bs 140,5 ; Ba 138 ; Fs 154 ; Fa 146,5 ; Ts 159 ; Ta 137,5. Elles sont dans l'ordre croissant des quantités de foin ingérées.

Les teneurs en vitamine A sont plus élevées dans les laits des lots F et T que dans ceux du lot B (de l'ordre de 25 %), mais il n'y

TABLEAU XXI

LAITS INDIVIDUELS

LOT T

Date	Groupe Ts — 6 kg. de foin — Sans vitamine				Groupe Ta — 6 kg. de foin — Avec vitamine			
	Nom de la vache	Caro-tène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.	Nom de la vache	Caro-tène γ/l.	Vit. A γ/l.	Vit. A/ Car.
23-12-43 .	Bobine	125	90	0,72	Aspirine	100	80	0,8
23-12-43 .	Agrippine	55	180	3,25	Ondine	70	100	1,43
31-3-44 ..	Agrippine	35	40	1,14	Ondine	20	60	3
31-3-44 ..	Bondineç	35	—	—	Delphine	35	70	2
31-3-44 ..	Nadine	40	45	1,12	Périne	25	90	3,6
13-4-44 ..	Nadine	20	65	3,25	Périne	—	—	—
13-4-44 ..	Zéphirine	75	58	0,77	Titine	37	65	1,76
	LOT F							
	Groupe Fs — 2 kg. de foin — Sans vitamine				Groupe Fa — 6 kg. de foin — Avec vitamine			
16-12-43 .	Paulette	80	100	1,24	Ponette	115	92,5	0,80
31-3-43 ..	Paulette	15	75	5	Ciboulette	65	55	0,85
16-12-43 .	Bichette	100	100	1	Mariette	80	90	1,12
16-12-43 .					Mariette	15	100	6,65
31-3-44 ..	Bichette	10	65	6,5				
16-12-43 .	Badette	92,5	95	1,03				
16-12-43 .					Finette	105	92,5	0,88
31-3-44 ..					Finette	20	75	3,75
21-3-43 ..					Yvette	30	70	2,3
21-3-44 ..	Cotelette	50	40	0,8				
					Yvette	22	120	5,4
13-4-44 ..	Tartelette	35	65	1,86	Colettеç	35	80	2,3
13-4-44 ..	Rigolette	45	75	1,66	Nénette	20	42	2,1
	LOT B							
	Groupe Bs — Pas de foin — Sans vitamine				Groupe Ba — Pas de foin — Avec vitamine			
8-12-43 .	Moka	125	100	0,8	Polka	150	90	0,6
8-12-43 .	Maria	140	90	0,64	Luidaç	160	105	0,65
13-4-44 ..	Reseda	35	60	1,71	Thetaç	35	58	1,66
	Kaba	30	55	1,84	Kaba	25	65	2,6
13-4-44 ..	Kaba	22	55	2,5	Kaba	35	45	1,28

a pas de différence systématique entre les lots F (à 2 kilogrammes de foin) et T (à 6 kilogrammes de foin).

Cependant, ce mode de calcul de moyennes entre des valeurs aussi différentes est critiquable et ne peut être donné qu'à titre indicatif. Il est plus rigoureux de calculer les moyennes des teneurs des laits en carotène et en vitamine A par périodes. En toute rigueur, il faudrait tenir compte de la production et calculer la teneur moyenne du lait de mélange. Notre calcul, quoique très approché est commode pour mettre en évidence le phénomène.

L'examen des courbes de la fig. XXV montre en effet trois périodes distinctes dans l'excrétion saisonnière des facteurs A par le lait (nous y reviendrons p. 99).

1. Première période comprise entre le 22 novembre inclus et le 23 décembre inclus.

2. Période comprise entre le 23 décembre inclus et le 14 avril inclus.

3. Période comprise entre le 14 avril inclus et le 25 mai inclus (mise à l'herbe).

Le tableau XXII traduit ces résultats.

TABLEAU XXII

Groupe de vaches	Carotène γ p/l.			Vitamine A γ p/l		
	Périodes					
	I	II	III	I	II	III
Ts	190	59,5	176,4	146,5	81,5	175
Ta	180	53	—	150	80	—
Moyenne	*185*	*56,2*	*176,4*	*148,25*	*80,75*	175
Fs	185	56,5	164	163	86,5	137
Fa	177,5	51,5	155	139	77	172,5
Moyenne	*181*	*54*	*159,5*	*151*	*81,75*	*154,75*
Bs	196	54,5	145,5	104	72,5	119
Ba	176	49,5	136	107,5	73	121,6
Moyenne	*186*	*52*	*141*	*105,75*	*72,75*	*120,3*

Quelle que soit la période, l'ingestion de vitamine A aux doses indiquées n'a eu aucun effet sur la teneur du lait en vitamine A. Les teneurs des laits des groupes avec vitamines présente un écart soit positif, soit négatif par rapport à la teneur des laits des groupes sans vitamines — et cet écart est au maximum de l'ordre de grandeur de l'erreur expérimentale (10 %).

L'ingestion de quantités différentes de foin par les vaches des lots B, F et T a eu un petit retentissement sur la teneur du lait en vitamine A. A cet égard, les lots F et T (respectivement 2 et 6 kilogrammes de foin) produisent — au cours des périodes I et II — des laits dont l'activité vitaminique est identique.

Le lait provenant des vaches du lot B — ne recevant pas de foin — contient moins de vitamine A que les laits provenant des deux autres lots. Cette différence se chiffre par une chute de 26 et de 11 %, respectivement pour les périodes I et II, entre les moyennes des teneurs en vitamine A des laits des groupes Fa et Fs d'une part, Ba et Bs d'autre part.

Il apparaît donc que 2 kilogrammes de foin (28 mgr. de carotène) représente une quantité minimum — un seuil — qui permet d'élever légèrement la teneur des laits en vitamine A — par rapport au lait de vaches presque totalement carencées. Entre 2 et 6 kilogrammes, le supplément de carotène ingéré n'a pas d'effet.

Les teneurs en carotène des laits des différents lots — toujours au cours des périodes I et II — présentent des différences non systématiques et de l'ordre des erreurs d'expérience.

Cependant, au cours de la période III (mise à l'herbe) le décalage entre les teneurs en vitamine A et en carotène s'affirme — en particulier entre les lots F et T qui jusque là ne présentaient pas de différence. Il est intéressant de constater que c'est au moment où les animaux reçoivent des quantités considérables de carotène que la différence entre les teneurs en vitamine A des laits des différents lots s'affirme.

D'ailleurs, après sept semaines de pâturage, les teneurs des laits en vitamine A sont d'autant plus grandes que les vaches ont reçu plus de foin pendant la stabulation. Les laits ayant les teneurs les plus élevées sont ceux des vaches du lot T (6 kilogrammes de foin), puis ceux des vaches du lot F (2 kilogrammes de foin), puis enfin ceux des vaches du lot B (pas de foin).

La petite quantité de foin ingérée quotidiennement par les vaches des lots T et F pendant la stabulation semble avoir épargné les réserves de carotène de l'animal et empêché sa carence.

La teneur des laits d'été en carotène n'a pas été influencée par l'alimentation en stabulation.

L'ingestion de vitamine A aux doses indiquées n'a eu aucun effet, ni immédiat, ni lointain sur la teneur du lait en vitamine.

Une quantité de 6 kilogrammes de foin à teneur moyenne en carotène est donc insuffisante pour produire un lait à activité vitaminique élevée.

Seule, l'ingestion de quantités de bon foin de l'ordre de 15 à

20 kilogrammes peut assurer la production d'un lait dont l'activité vitaminique approche celle des laits d'été.

Il y aura intérêt, dans l'alimentation du bétail, à fournir aux animaux en stabulation une ration aussi riche que possible en carotène, qui pourra être apporté, sous un petit volume, par de la farine de feuille de luzerne convenablement récoltée ou, plus couramment, par les fourrages ensilés ou encore par les bons foins de légumineuses.

Les doses pratiques de vitamine A ajoutées à la ration des vaches laitières sont insuffisantes pour augmenter la teneur du lait en vitamine.

2. **Variations individuelles.**

La comparaison des teneurs en carotène et en vitamine A de laits prélevés à une même date, provenant de vaches de même race, soumises à une même alimentation montre que les variations individuelles sont relativement faibles.

Les chiffres extrêmes, pour des laits provenant de vaches placées dans les mêmes conditions, vont par exemple de 100 à 180 γ, de 75 à 42 γ, de 65 à 100 γ de vitamine A ; de 45 à 20, de 55 à 70 pour le carotène.

Remarquons d'ailleurs que ces variations surviennent principalement dans les laits des vaches recevant du foin (voir tableau XXI). Les teneurs des laits provenant du lot de vaches sans foin sont beaucoup mieux groupées. On peut penser que le métabolisme du carotène est différente d'un individu à l'autre.

3. **Teneur du lait en facteurs A en fonction de l'état de lactation.**

Il n'est pas possible de formuler une conclusion en ce qui concerne la teneur du lait en vitamine A en fonction de l'état de lactation chez une même vache. Il se superpose en effet le facteur « alimentation » qui est le plus important.

Comparons les laits de vaches soumises à une même alimentation mais dans des états de lactation différents.

Date du vêlage	Date du prélèvement	Carotène γ/l.	Vitamine A γ/l.	Semaines de lactation	Nom
9-12-43	31-3-44	35	40	15	Agrippine
26-12-43	31-3-44	35	—	13	Bondine
6-3-44	31-3-44	40	45	3	Nadine
25-11-43	31-3-44	20	60	19	Ondine
14-12-43	31-3-44	35	70	14	Delphine

Ces variations sont de l'ordre des variations individuelles, sans qu'on puisse les attribuer à l'état de lactation différent.

Gillam et Coll. [44], Friederichsen et With [90] n'ont pu trouver de relation entre la teneur du lait en vitamine A et l'état de lactation.

4. Variations dues à la race.

Nous ne possédons aucun renseignement sur l'activité vitaminique A des laits des vaches des différentes races françaises.

A l'étranger, Sutton et Kraus [85] ont trouvé que les beurres de Guernsey et Holstein ont à peu près la même activité, et ces deux beurres sont nettement plus actifs que les beurres de Ayrshire et Jersey. De même, Gillam [83] trouve que l'activité vitaminique totale du beurre de Guernsey est significativement plus élevée que celle des races Shortorn, Ayrshire, Frisonne, ces trois races présentant de très faibles différences entre elles.

Shaw et Coll. [91] concluent que l'activité vitaminique est proportionnelle au pourcentage de matière grasse caractéristique de la race.

Ce qui varie surtout, c'est le rapport carotène/vitamine A (Gillam, Baumann [38] Beeson [92]). Par exemple, la teneur de la matière grasse de Guernsey en carotène est plus élevée que celle des Holstein. Les teneurs en vitamine A sont dans l'ordre inverse.

En somme, l'influence de la race semble être assez minime sur l'activité vitaminique totale du lait.

Nous avons étudié les laits de vaches de race hollandaise, normande, montbéliarde. Nous avons quelques résultats concernant les laits de vaches de race flamande et bretonne.

Dans l'expérience décrite, les lots F et T étaient constitués par des vaches de race hollandaise, le lot B de normandes et de quelques montbéliardes et hollandaises.

Les résultats sont les suivants :

MOYENNE DES ÉCHANTILLONS MOYENS ENTRE NOVEMBRE ET AOUT

	Normande		Hollandaise		Hollandaise	
	Bs	Ba	Fs	Fa	Ts	Ta
Carotène γ/litre	140,5	138	154	146,5	159	137,5
Vitamine A γ/litre....	112	112	147	152	157,5	145,5
Total (U. I. l.)	554	550	677	680	715	645
Vitamine A/Carotène	0,80	0,81	0,95	1,04	0,99	1,06

L'activité vitaminique totale de ces laits — compte tenu du régime — est sensiblement identique.

La différence est cependant plus grande lorsque les animaux reçoivent un excès de carotène. Le 8 novembre, les vaches étant au pâturage donnaient un lait moyen dont les teneurs étaient les suivantes :

	Carotène γ/l.	Vitamine A γ/l.	Vitamine A U. I./l.	Activité totale	Vit. A/ Car.
Hollandaises	345	390	1.100	1.675	1,12
Normande	360	230	660	1.260	0,64
Montbéliarde	245	215	615	1.023	0,88

L'activité totale est calculée en prenant 1 unité internationale = 0,6 γ de carotène. L'activité due au carotène est additionnée à celle due à la vitamine A (en U. I.).

L'activité vitaminique A totale du lait de vaches hollandaises est supérieure, à cette date, à celle des laits de normande et de montbéliarde. La différence est de l'ordre de 30 %.

Le 15 novembre, les vaches venant de rentrer à l'étable et recevant une ration comprenant des feuilles et collets de betterave donnaient des laits dont les teneurs étaient :

Hollandaise	285	240	690	1.165	0,845
Normande	255	225	640	1.065	0,88
Montbéliarde	285	190	535	1.101	0,67

L'ordre des teneurs est le même qu'à la date précédente.

La différence dans ces teneurs en carotène et en vitamine A des laits des différentes races s'atténue cependant.

Le 22 novembre, on notait les valeurs suivantes :

Hollandaise	295	230	655	1.145	0,78
Hollandaise	280	210	600	1.065	0,75
Normande	275	130	380	840	0,58
Montbéliarde	310	180	510	1.025	0,58

Enfin, le 29 novembre, les teneurs étaient :

Hollandaise (T)	205	130	375	715	0,63
Hollandaise (F)	220	160	450	815	0,73
Normande	280	120	340	805	0,43
Montbéliarde	245	120	340	780	0,49

A cette date, il n'y a pas de différence dans l'activité vitaminique totale des différents laits. Elle ne se manifeste que lorsque les animaux reçoivent une quantité notable de carotène.

Le lait des vaches de race hollandaise présente alors une activité vitaminique A supérieure à celle du lait de vaches de race normande et de montbéliarde, semble-t-il.

Les laits moyens proviennent en effet de 10 à 12 vaches hollandaise et normande, alors que nous ne disposions que d'une seule vache montbéliarde.

Le rapport Vit. A/Carotène est plus grand dans le lait de vaches hollandaises que dans celui de normandes. Les normandes excrètent donc davantage de carotène par rapport à la vitamine A que les vaches hollandaises.

Lorsque les réserves sont épuisées (animaux en stabulation), les différences dans l'activité vitaminique A totale et les rapports Vit. A/Carotène diminuent.

Notons enfin les teneurs des laits d'une vache normande et d'une bretonne nourries exclusivement de foin.

	Carotène	Vitamine A	Vit. A/Car.
Normande	170	190	1,12
Bretonne	310	180	1,72

C'est par l'excrétion du carotène que ces deux races semblent différer.

5. Amplitude des variations saisonnières dans les teneurs du lait en carotène et en vitamine A.

L'amplitude des variations dans les teneurs du lait en carotène et en vitamine A atteint des valeurs considérables. Les teneurs extrêmes en carotène (γ par litre) sont de 15 et de 345 γ et, pour la vitamine A de 50 et de 390 γ. Le lait de printemps peut donc contenir vingt fois plus de carotène et sept à huit fois plus de vitamine A que le lait de fin d'hiver. L'amplitude de la variation atteint des valeurs plus élevées pour les teneurs en carotène que pour les teneurs en vitamine A. L'excrétion de la provitamine est plus grande que celle de la vitamine A ; le carotène se comporte en quelque sorte comme un élément de surcharge ne pouvant être mis en réserve qu'avec difficulté. Il se comporte à cet égard un peu comme une vitamine hydrosoluble — B ou C — dont l'organisme peut se charger et se décharger rapidement.

Il intervient une sorte de régulation dans la teneur du lait en vitamine A.

Le tableau XXI, p. 91, montre que, dans les laits individuels le rapport Vitamine A/Carotène est de l'ordre de 0,75-1 au début

de la stabulation. A la fin, il atteint les valeurs 2-3, ce qui montre bien que l'excrétion du carotène est plus importante que l'excrétion de la vitamine A lorsque l'apport de carotène par l'alimentation est devenu insuffisant.

Après une période de sécheresse, l'herbe s'étant jaunie et desséchée, les teneurs du lait en carotène ont diminué de 47 % (Ts), 40 % (Fs), 47 % (Fa), 36 % (Bs), 7 % (Ba), (Ta) a augmenté de 17 %. Les teneurs en vitamine A ont diminué de 25 % (Ts), 12,5 % (Ta), 35 % (Fa), 20 % (Bs), 47 % (Ba). (Fs) a augmenté de 3 %.

Ici encore, la baisse a été la plus forte pour le carotène.

6. Vitesse de variation de la teneur du lait en carotène et en vitamine A.

Elle est mesurée par la pente de la courbe qui exprime la variation de la teneur du lait en vitamine A et en carotène en fonction de la date de prélèvement.

Les courbes de la fig. XXV étant à la même échelle, on pourra comparer les vitesses de variation des teneurs en carotène et en vitamine A.

Allure générale du phénomène.

Il y a lieu de distinguer trois périodes dans l'excrétion saisonnière des facteurs A par le lait.

1. La teneur du lait en carotène et en vitamine A tombe très rapidement après la mise en stabulation des animaux.

En cinq semaines, elle passe par exemple pour le groupe Ta de 340 à 70 γ de carotène, de 395 à 70 γ de vitamine A (entre le 15 novembre et le 23 décembre).

2. Il existe un point anguleux dans la courbe, qui subit alors un changement de pente très brusque (période du 23 décembre au 14 avril).

L'excrétion du carotène et de la vitamine se trouve considérablement diminuée au cours de cette période. Il existe un mécanisme physiologique qui permet de freiner la décharge de vitamine A par le lait, lorsque la ration contient relativement peu de carotène.

Au cours de cette seconde période, la vitesse de variation de la teneur du lait en vitamine A et en carotène est faible.

3. A la mise à l'herbe les teneurs remontent très rapideent.

Le maximum de variation observé est obtenu pour le carotène en deux semaines alors que pour la vitamine A le maximum survient après un délai de cinq à six semaines.

Ces conclusions diffèrent de celles de Friederichsen et With [90] qui trouvent que la teneur maximum en carotène est

obtenue en trois-quatre semaines, alors que le maximum est atteint en une semaine pour la vitamine A.

Cependant, on ne peut comparer en toute rigueur ces deux conclusions, le maximum ayant pu être atteint entre le 25 mai et le 5 août, période pendant laquelle on ne pouvait effectuer de prélèvements.

Le carotène se comporte encore ici comme un élément de « charge », qui est immédiatement excrété par le lait.

La vitamine A doit d'abord être mise en réserve avant de passer dans le lait.

* * *

Examinons maintenant les vitesses de variation des teneurs des laits des différents groupes.

PÉRIODE I

Passage d'une ration riche à une ration pauvre en carotène

a) *Carotène.*

La teneur du lait en carotène, au cours de la période I, tombe d'autant plus vite que les vaches reçoivent moins de foin. C'est la teneur des laits du lot B qui varie le plus vite, celle des laits T (6 kilogrammes de foin) qui varie le moins vite, le lot F (2 kilogrammes de foin) présentant une vitesse de chute intermédiaire. La différence est toutefois faible.

b) *Vitamine A.*

Le même ordre s'observe pour les teneurs en vitamine A.

PÉRIODE II

On ne peut noter aucune différence dans la variation de la teneur en carotène et en vitamine A du lait de chacun des six groupes pendant la période de basses teneurs.

PÉRIODE III

La vitesse de variation de la teneur du lait en vitamine A à la mise à l'herbe est différente selon la quantité de foin reçue par les animaux au cours de la stabulation.

La teneur en vitamine A des laits des deux groupes du lot B (ne recevant pas de foin) remonte plus lentement et à un niveau moins haut que celle des laits des deux autres lots.

Le carotène ingéré par les vaches des lots F et T n'a donc pas été inutile physiologiquement, bien qu'il n'ait eu qu'un retentissement insignifiant sur la teneur du sang et du lait en vitamine A. Il a permis de maintenir les réserves à un niveau tel qu'elles se

manifestent après un apport massif de carotène dû à la mise à l'herbe.

La remontée des teneurs en vitamine A des lots F et T s'effectue à des vitesses légèrement différentes, mais qui ne sont pas sous la dépendance de la quantité de foin reçue en stabulation.

L'addition de vitamine A aux doses indiquées n'a eu aucune influence sur la vitesse de variation de la teneur du lait en vitamine A. La différence de vitesse dans la remontée des teneurs en carotène est moins accentuée que pour les teneurs en vitamine A des lots des groupes B d'une part, F et T d'autre part.

Le même ordre décroissant des vitesses : T (6 kilogrammes de foin, F (2 kilogrammes de foin), B (pas de foin) est cependant retrouvé.

La vitesse de remontée des teneurs du lait en carotène est un peu plus rapide que la vitesse de chute.

7. Utilisation du carotène alimentaire dans la sécrétion lactée.

Considérons le cas des vaches du lot B, ne recevant pratiquement pas de carotène du 15 novembre au 15 avril.

Une vache produisant 10 litres de lait par jour, contenant en moyenne 100 γ de carotène et 100 γ de vitamine A, excrétera au cours de cette période 150 milligrammes de vitamine A et la même quantité de carotène.

Les vaches des lots F et T (respectivement 2 et 6 kilogrammes de foin) exportent les mêmes quantités et reçoivent cependant :

a) Lot F : 2 kilogrammes de foin contenant 14 mgr. de carotène par kilogrammes, soit au total 4 gr. 2.

b) Lot T : 6 kilogrammes de foin apportant au total 12 gr. 6 de carotène.

Ainsi, un tel excès de carotène ingéré par les vaches des lots F et surtout T n'a eu qu'une influence très faible sur la teneur du lait en facteurs A,

Nous avons vu cependant que ce carotène n'avait pas été inutile et qu'il se manifeste par une remontée plus rapide des teneurs en vitamine A chez les vaches l'ayant reçu, et par une teneur en vitamine plus élevée au cours du pâturage.

Les vaches du lot B empruntent donc la vitamine A et le carotène à leurs réserves — qui subissent une diminution de l'ordre de 0 gr. 15. L'utilisation du carotène alimentaire par les vaches du lot F — en supposant que le carotène du lait provient exclusivement de l'alimentation actuelle — est de l'ordre de 3-4 %.

Pour les vaches du lot T, elle est évidemment moindre — de

l'ordre de 1 % — puisque la quantité de carotène et de vitamine A exportée reste sensiblement constante quand la quantité de carotène ingéré triple. Cary, Friederichsen et With, Russel et Taylor, Van Wijngaarden trouvent des valeurs du même ordre de grandeur.

De sorte que l'utilisation du carotène alimentaire pour la sécrétion lactée diminue lorsque la quantité de carotène ingéré augmente. Russel et Taylor ont exprimé la même opinion.

Cela est vraisemblablement dû, comme Friederichsen et With le pensent, à l'utilisation des réserves lorsque l'apport de vitamine A alimentaire est faible.

Importance pratique

Les résultats précédents montrent que la teneur en facteurs A du lait des vaches nourries dans les conditions de la pratique agricole de la région parisienne s'abaisse, pendant les mois d'hiver, à une valeur extrêmement basse.

Ce lait est incapable de couvrir les besoins vitaminiques de l'enfant. Le diététicien et le médecin ne devront pas l'oublier. Par ailleurs, il est bien connu, dans la pratique de l'élevage, qu'il est très difficile d'élever des veaux pendant la période d'hiver.

En gros, la courbe qui traduit la mortalité serait symétrique à la courbe XXV p. 89 ; la mortalité maximum se produisant lorsque les teneurs sont minima.

Il est hors de doute que pendant cette période, le lait n'est pas seulement déficient en carotène et en vitamine A, mais que le taux d'autres vitamines et plus généralement des « ergones » (Von Euler) contenues dans le lait s'abaisse considérablement.

Cependant, étant donné l'énorme importance jouée par les facteurs A dans la croissance et la lutte contre les infections, on peut penser que la faible teneur du lait en carotène et en vitamine A est en grande partie responsable de la mortalité des veaux.

La production de lait à basse teneur en carotène affecte en outre la qualité du beurre produit. C'est une conséquence moins grave que la carence des enfants en vitamine A et que la mortalité des veaux, mais qui n'en a pas moins une importance économique.

On sait que les beurres d'hiver sont peu colorés, mais ce défaut commercial est facilement réduit par l'addition de colorant artificiel dépourvu d'activité vitaminique. Plus importante est la question de la conservation des beurres. Les travaux de Beck, Witnah et Martin [93], de Cowe, Martin et Beck [94], de Carson Brown et Coll. [95] ont montré que la saveur oxydée (oxydised flavour) est plus fréquente dans les beurres peu colorés. L'apparition de la saveur oxydée est prévenue par l'absorption de carotène.

Les qualités organoleptiques et la conservation du beurre sont donc liées à sa teneur en carotène.

Le producteur de lait devra s'efforcer de livrer un produit aussi riche que possible en facteurs A.

Pratiquement, l'apport alimentaire devra être fait sous forme de carotène.

La meilleur source sera le foin de luzerne ou l'ensilage d'excellente qualité.

Cary [82] cite les chiffres suivants pour les teneurs en carotène de divers aliments du bétail :

	Teneurs moyennes (Mmgr. par kilogramme)
Farine de feuille de luzerne	151
Foin de luzerne U. S. n° 1	44
Foin de luzerne U. S. n° 2	15
Foin de luzerne U. S. n° 3	4
Foin de phléole U. S. n° 1	21
Foin de phléole U. S. n° 2	9
Foin de phléole U. S. n° 3	5
Carottes jaunes	91

Si l'on prend les données les plus récentes de Davis et Madsen [65] qui indiquent comme besoin minimum pour une reproduction normale chez la vache 60 γ de carotène par kilog de poids de l'animal (soit 30 mgr. par jour), on voit qu'il suffit d'une quantité aussi faible que 1 kilog de bon foin pour couvrir ces besoins.

Bien entendu, si l'on veut produire un lait à haute activité vitaminique A, il faudra que la ration comprenne une quantité de foin plus importante.

Le cultivateur ne saurait apporter trop de soin à la récolte du foin. Une dessication rapide est nécessaire et, dans les conditions optima, pourra être réalisée par un procédé industriel. L'ensilage permet de conserver les fourrages sans altérer notablement leur activité vitaminique.

En résumé, les variations individuelles ou raciales dans les teneurs du lait en carotène et en vitamine A sont absolument négligeables par rapport aux variations dues à une alimentation plus ou moins riche en carotène. Un changement rapide survient dans les teneurs du lait en carotène et en vitamine A lorsque la quantité de carotène ingéré varie. La variation des teneurs en carotène suit d'ailleurs plus rapidement un changement de la ration que la variation des teneurs en vitamine A.

De l'ensemble des faits observés, il ressort que le carotène est retenu plus difficilement par l'organisme que la vitamine A.

CHAPITRE VIII

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

I. Le dosage de la vitamine A peut s'effectuer rapidement par la méthode électrophotométrique de Meunier et Raoul qui donne des résultats comparables à ceux qui sont fournis par le dosage spectrophotométrique.

Le dosage colorimétrique du carotène fournit des résultats plus élevés que ceux donnés par la méthode spectrophotométrique.

II. Le lait conservé à 2° et à l'obscurité pendant quinze jours ne perd pratiquement ni carotène, ni vitamine A.

La fermentation putride est plus néfaste à la vitamine A que l'acidification. Le trioxyméthylène, surtout lorsque le lait est exposé à la lumière, active la destruction du carotène et de la vitamine A.

III. La matière grasse émulsionnée du lait contient la majeure partie du carotène et de la vitamine A.

Cependant, une petite fraction des lipides et des facteurs A sont unis aux protides — et vraisemblablement à l'albumine ou à la globuline — sous forme de cénapses.

Il reste d'ailleurs à rechercher si le carotène et la vitamine A ne sont pas fixés superficiellement par les globules émulsionnés — ces corps pouvant être unis à la fois aux lipides et à la membrane protéique.

Physiologiquement, on peut supposer que cette petite quantité de carotène et de vitamine A passe directement par filtration dans la mamelle, avec les cénapses qui existent dans le sang. Ces dernières subissent une dislocation dans la mamelle.

Lipides et facteurs A suivent des processus sécrétoires différents quand la pression intra-mammaire est faible. Les quantités de carotène et de vitamine A sécrétées sont ensuite proportionnelles aux quantités de lipides élaborées.

La teneur du lait en carotène et en vitamine A dépend de la concentration de ces produits dans le sang. La corrélation n'est pas étroite, et le taux du lait n'est influencé que si les taux sanguins de carotène et de vitamine A varient largement.

IV. — La teneur du colostrum en carotène et en vitamine A est très élevée. Elle est plus indépendante de l'alimentation que celle du lait. Les variations de la teneur en fonction du temps écoulé depuis le vêlage affecte une allure régulière qui rappelle la variation de la teneur en protides.

Cependant, seules, les quantités totales de carotène et de vitamine A excrétées décroissent à mesure que la lactation s'installe.

La teneur du colostrum en carotène et en vitamine A est d'autant moins grande que la vache a subi davantage de parturitions.

Il semble que la vache ne puisse reconstituer ses réserves de carotène et de vitamine A qu'avec de grandes difficultés, lorsqu'elle est soumise à un régime de stabulation prolongée, pendant laquelle elle ne reçoit que des aliments pauvres en carotène.

V. — La teneur du lait en carotène et en vitamine A dépend étroitement de la quantité de carotène apportée par l'alimentation.

Cependant, la teneur du lait n'est pas sensiblement augmentée, que la vache reçoive 2 ou 6 kilogrammes de foin. Il existe un seuil au-dessous duquel la teneur des laits en facteurs A n'est pas augmentée.

Lorsque les animaux rentrent à l'étable, l'excrétion du carotène et de la vitamine A diminue rapidement d'abord, puis plus lentement ensuite. Le minimum est obtenu en vingt semaines environ. On arrive alors à une teneur qui est celle du lait écrémé.

La teneur du lait écrémé en carotène et en vitamine A est d'ailleurs beaucoup plus indépendante de la saison que celle du lait entier.

A la mise à l'herbe, la remontée des teneurs du lait est rapide. Elle est plus rapide pour le carotène que pour la vitamine A.

De l'ensemble des faits observés, il ressort que le carotène ne peut être mis en réserve au même titre que la vitamine A.

L'organisme peut subir des charges et des décharges et carotène, alors que la vitamine A semble subir une régulation physiologique qui tend à maintenir son niveau constant.

La remontée de la teneur du lait en carotène et en vitamine A, à la mise à l'herbe, est d'autant plus rapide que les vaches ont reçu plus de carotène pendant la stabulation.

C'est seulement à ce moment que l'on voit que le supplément de carotène apporté par les 6 kilogrammes de foin n'a pas été inutile.

L'addition de faible quantités de vitamine A est incapable d'augmenter la teneur du lait en vitamines.

On a pu dire que les globules de matière grasse étaient surajoutés au lait. La vitamine A, et surtout le carotène, le sont également, lorsque la ration est riche en carotène.

Les basses teneurs du lait de vache en carotène et en vitamine A peuvent avoir de graves conséquences lorsque ce lait constitue la nourriture exclusive des enfants. Le beurre qu'il donne n'apporte aux adultes qu'une quantité insignifiante de vitamine A.

En outre, pendant la période de basse teneur, il est très difficile d'élever des veaux.

La production d'un lait riche en vitamine A est un problème auquel l'agriculteur doit s'attacher.

BIBLIOGRAPHIE

[1] M. Javillier. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 1940, 26, 396.
[2] P. Meunier et Y. Raoul. *C. R. Soc. Biol.*, 1938, 132, 259.
[3] Carr et Jewell. *Nature*, 1933, 131, 92.
[4] Carr et Price. *Biochem. J.*, 1926, 20, 497.
[5] P. Meunier et Y. Raoul. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1938, 20, 861 ; *C. R. Ac., Sc.*, 1938, 206, 1148.
[6] Chevallier, Matheron et Roux. *C. R. Soc. Biol.*, 1939, 132, 523.
[7] Quackenbusch, Steenbock et Peterson. *J. Biol. Chem.*, 1938, 48, 123.
[8] Moore. *Biochem. J.*, 1929, 23, 803-1267 ; 1930, 24, 692.
[9] Olcott et MacCann. *J. Biol. Chem.*, 1935, 94, 195.
[10] Joyet-Lavergne. *Ann. Physiol. Physicochim. Biol.*, 1937, 13, 1019.
[11] L. Emerique. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1937, 19, 859.
[12] A. Chevallier et P. Dubouloz. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1932, 14, 1076.
[13] A. Chevallier et P. Chabre. *C. R. Soc. Biol.*, 1934, 115, 1298.
[14] A. Chevallier et P. Dubouloz. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1936, 18, 191, 703, 1115.
[15] A. Chevallier P. Dubouloz et R. Matheron. *C. R. Soc. Biol.*, 1939 131, 372.
[16] Rosenthal et Erdely. *Biochem. Journ.*, 1934, 28, 41.
[17] Lévine et Richmann. *Journ. Biol. Chem.*, 1933, 101, 387.
[18] P. Dulou, A. Vinet et P. Meunier. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1943, 25, 371.
[19] Rygh. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1934, 16, 609.
[20] Y. Raoul et M. M. Janot. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1941, 23, 78.
[21] P. Meunier, Y. Raoul. Le diagnostic chimique des avitaminoses. Masson, Paris, 1942.
[22] Ch. Porcher. Le lait au point de vue colloïdal. *Le Lait*, 1929-1931.
[23] M. Machebœuf et Tayeau. *C. R. Soc. Biol.*, 1940, 133, 289.
[24] Crowther et Raistrick. *Biochem. Journ.*, 1916, 10, 334.
[25] Woodmann. *Biochem. Journ.*, 1925, 25, 187.
[26] Rimington. *C. R. Carlsberg*, 1927, 17, n° 2.
[27] Graham. *Journ. Dairy Sc.*, 1937, 20, 413.
[28] Reinecke, Stonecipher et Turner. *Journ. Dairy Sc.*, 1941, 24, 535.
[29] Piettre. *C. R. Acad. Sc.*, 1934, 198 1454, 1551.
[30] Tgetgel. *Schweiz. Arch. Tierhlk*, 1926, 68, 6 et 7.
[31] Hammond. *The Vet. Rec.*, 1936, 16, 519.
[32] Swett, Miller, Graves et Greech. *Journ. Agr. Res.*, 1932, 43, 577.
[33] Ragsdale, Brody et Turner. *Journ. Dairy Sc.*, 1924, 7, 249.
[34] Kon, Gillam et White. *Journ. Dairy Res.*, 1939, 10, 114.
[35] de Hass et Meulemans. *Zeit. Vitam. Forsh*, 1939, 133, 253.
[36] Willsteadt et With. *Zeit f. Physiol. Chem.*, 1938, 133, 253.
[37] Dann. *Biochem. Journ.*, 1933, 28, 1998.
[38] Baumann et Steenbok. *Journ. Biol. Chem.*, 1933, 101, 547.
Baumann, Steenbok, Beeson, Rupel. *Journ. Biol. Chem.*, 1934, 105, 167.

[39] Olson, Hegstead et Peterson. *Journ. Dairy Sc.*, 1939, 22, 63.
[40] Van Beyer. *Arch. Néerl. Physiol.*, 1938, 23, 552.
[41] P. Meunier et A. Vinet. *Le Lait*, 1941, 21, 207.
[42] A. Chevallier et Manuel. *C. R. Soc. Biol.*, 1939, 130, 553.
[43] Schrewsbury et Kraybill. *Journ. Biol. Chem.*, 1933, 101, 701.
[44] Gillam. *Biochem. Journ.*, 1934, 7, 78.
[45] A. Chevallier, Manuel et Faubert. *Trav. Memb. Soc. Chim. Biol.*, 1941, 23, 1429.
[46] P. Meunier et Y. Raoul. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1942, 25,173.
[47] Strain. *J. Biol. Chem.*, 1937, 127, 191.
[48] Gillam et El Ridi. *Biochem. Journ.*, 1935, 29, 2469.
[49] Palmer. *Journ. Biol. Chem.*, 1915, 23, 261.
Palmer et Eckles. *Journ. Biol. Chem.*, 1914, 17, 191.
[50] Van den Bergh, Hymans et Muller. *Ver. Akad. Wetten. Amsterdam*, 1920, 22, 748.
Van den Bergh et Broekmeyer. *Biochem. Journ.*, 1920, 108, 279.
[51] Sandor. Le problème des protéides. Doin, Paris, 1934.
[52] Morgan. *Am. Journ. Physiol.*, 1924, 64, 552.
[53] Coward, Kay et Cambdel. *Biochem. Journ.*, 1929, 23, 913.
[54] Machebœuf. L'état des lipides dans la matière vivante. Hermann, Paris, 1936.
[56] Vinet, Plessier, Raoul. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1943, 25, 147.
[57] Chevallier et Choron. *C. R. Soc. Biol.*, 1938, 27, 1443.
[58] Guilbert et Hart. *Journ. Nutrition*, 1934, 8, 25.
[59] Lindqvist. *Acta. Med. Scandinavia*, 1938, suppl. 97.
[60] Varangot. *C. R. Soc. Biol.*, 1942, 136, 279.
[61] Moore. *Journ. Dairy Sc.*, 1939, 22, 513.
[62] Peterson, Bohnstedt. *Journ. Dairy Sc.*, 1934, 18, 63.
[63] Semb, Baumann, Steenbock. *Journ. Biol. Chem.*, 1934, 107, 373 et 697.
[64] Chevallier, Giraud, Dinard. *C. R. Soc. Biol.*, 1939, 131, 396.
[65] Davis et Madsen. *Journ. Nutrition*, 1934, 8, 25.
[66] Engel et Schlag. *Milchn. Forsh*, 1924, 11, 1.
[67] Houdinière. *Le Lait*, 1944, 24, 108, 313. — 1945, 25, 97.
[68] Leuschen, Kunerth, Kramer, Riddel. *Journ. Nutrition*, 1937, 14, 247.
[69] Stewart et MacCallum. *Journ. Agric. Sc.*, 1938, 28, 428.
[70] Engel, Schlag et Mohr. *Milchw. Forsch*, 1924, 11, 47.
[71] de Vries. *Off. Orgaan Van den Alg. Nederland Zuil.*, 1920, 770.
[72] Famulener. *Trans.* 15th. *Intern. Congrès Hyg. Dem.*, 1914, 242,.
[73] Sassenhagen. *Arch. Kinderheilk*, 1910, 53, 281.
[74] Smith et Little. *The Journ. of Exp. Med.*, 1922, 36, 181, 453. — 1924, 39, 303. — 1930, 44, 473.
[75] Traum. *The Cornell vétérinarian*, avril 1922.
[76] Chevallier, Giraud, Dinard. *C. R. Soc. Biol.*, 1939, 131, 373.
[77] Grimmer. *Milch. Forsh.*, 1924, 11, 31.
[78] Lelesz. *Acta Vitaminologiae*, 1939, 2, 42.
[79] Miller, Lease, Andersen. *Journ. Dairy Sc.*, 1940, 23, 573.
[80] Deco. *C. R. Soc. Biol.*, 1939, 130, 817.

[81] Randoin. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1941, 23, 437.
[82] Cary. *Food and life yearbook of agric. U. S. dep. of Agric.*, 1939, 865, 685.
[83] Gillam et Heilbronn. *Biochim. J.*, 1935, 29, 834.
[84] Van Wijngaarden. *Nederl. Tijdschr. V. Geneesk*, 1934, 78, 2668.
[85] Sutton et Kraus. *Bimo. Bull.*, 1936, 8, 21.
[86] Hodgson, Knott, Murer et Graves. *J. Agr. Res.*, 1938, 57, 513.
[87] Smith et Powell. *J. Dairy Sc.*, 1937, 20, 428.
[88] Meigs et Converse. Proc. Amer. Soc. Animal Production, 1933, 58 (*Janv.* 1934).
[89] Russel et Taylor. *N. J. Agric. Exp. Sta. Bull.*, 1935, 592, 11.
[90] Friederichsen et With. *Annales Pédiatrici*, 1939, 153, 113.
[91] Shaw, Bechdel, Guerrant, Dutcher. *Journ. Dairy Sc.*, 1937, 20, 521.
[92] Beeson. Proc. Amer. Soc. Animal. Prod., 1935, 54.
[93] Beck, Witnah, Martin. *Journ. Dairy Sc.*, 1939, 22, 28.
[94] Cowe, Martin et Beck. *Journ. Dairy Sc.*, 1939, 22, 457.
[95] Carson Brown. *Journ. Dairy Sc.*, 1939, 23, 5, 351.
[96] Van Wijngaarden. Dissertation Utrecht, 1935.
[97] Devel, Halliday. Hallman, Johnston, Miller. *J. Nutrit.*, 1941, **22**, 303.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Vu et approuvé :
Paris, le 3 Mai 1945
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
P. MONTEL.

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
G. ROUSSY.

TABLE DES MATIÈRES

Première Partie. — **Travaux antérieurs** Pages

Introduction 11

CHAPITRE PREMIER

La vitamine A 13

1. Historique 13
2. Propriétés physiques 14
3. Physiologie 15
4. Dosages 17

A. Dosage biologique 17
B Dosage spectrophotométrique 18
C. Dosage basé sur la réaction de Carr et Price 20

a) La spécificité 20
b) Les inhibiteurs 21
c) Appareillage 21
d) Calculs 21

CHAPITRE DEUXIÈME

Le lait 25

1. La composition du lait 25

a) L'eau 26
b) Les lipides 26
c) Les protides 26
d) Les matières salines 26
e) Les diastases 26
f) Les vitamines 27
g) Le lait au point de vue physico-chimique 27

2. Physiologie de la sécrétion lactée 27

a) La mamelle 27
b) Histologie 28
c) Composants de sécrétion et composants d'excrétion 28
d) Origine des constituants du lait 29
e) Influence des produits de sécrétion sur la composition du lait 30

Deuxième Partie. — **Travaux Personnels.** Pages

But du travail 33

CHAPITRE PREMIER

Recherches chimiques 35

Dosage de la vitamine A et du carotène dans le lait 35

1. Préparation de l'insaponifiable 35

A. Matériel de départ 35

B. Saponification 35

C. Extraction 37

2. Comparaison des méthodes de dosage 38

A. Méthode spectrophotométrique 39

a) Carotène 39

b) Vitamine A 39

B. Réaction de Carr et Price 40

CHAPITRE DEUXIÈME

Recherches biochimiques 45

Etat du carotène et de la vitamine A dans le lait 45

1. Le carotène et la vitamine A dans le lait écrémé ... 45

A. Teneur du lait écrémé en carotène et en vitamine A 45

B. Carotène et vitamine A par gramme de lipides .. 47

C. Etat du carotène et de la vitamine A du lait écrémé 48

D. Extraction des lipides, du carotène et de la vitamine A du lait écrémé 48

E. A quelle fraction protidique du lait sont unis les lipides ? 49

F. Aspect des protides en fonction de la concentration alcoolique 51

G. Quantité de lipides, de carotène et de vitamine A liés 52

CHAPITRE TROISIÈME

Conservation de la vitamine A dans le lait 53

CHAPITRE QUATRIÈME

Pages

Recherches physiologiques 58

I. *Introduction* 58

1. Le sang 58

A. Généralités 58

B. Relation entre la teneur du sang et celle du lait en vitamine A 60

2. Travail personnel 60

II. *Colostrum* 63

1. Généralités 63

2. Travail personnel 64

A. Allure générale du phénomène 64

B. Interprétation et discussion 64

C. Influence de l'alimentation antepartum sur la teneur du colostrum en carotène et en vitamine A 66

D. Vitesse de variation de la teneur du colostrum en carotène et en vitamine A 69

E. Carotène et vitamine A par gramme de lipides .. 71

CHAPITRE CINQUIÈME

Relation entre l'âge d'une vache laitière et la teneur de son colostrum en vitamine A 73

1. Généralités 73

2. Travail personnel 73

CHAPITRE SIXIÈME

Teneurs comparées du lait en lipides, en carotène et en vitamine A en fonction de l'intervalle entre deux traites consécutives 81

1. Généralités 81

2. Travail personnel 82

A. Interprétation et discussion 82

CHAPITRE SEPTIÈME

Pages

Nutrition 85

1. Influence de l'alimentation sur la teneur du lait en carotène et en vitamine A 85

A. Généralités 85
B. Essais d'enrichissement du lait en vitamine A ... 86
C. Travail personnel 86

a) Constitution des lots 86
d) Prélèvement des échantillons 87
c) Résultats 87

D. Interprétation et discussion 88

2. Variations individuelles 94
3. Teneur du lait en vitamine A en fonction de l'état de lactation 94
4. Variations dues à la race 95
5. Amplitude des variations saisonnières dans les teneurs du lait en carotène et en vitamine A 97
6. Vitesse de variation dans la teneur du lait en carotène et en vitamine A 98
7. Utilisation du carotène alimentaire dans la sécrétion lactée 100

CHAPITRE HUITIÈME

Conclusions générales 103

Bibliographie 107

CHAMBÉRY — IMPRIMERIES RÉUNIES, 3, RUE LAMARTINE — 54.850